ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/320298510

Modélisation de la croissance chez l'olivier TOME 1 Croissance et Développement

Book · January 2016

CITATIONS
0

READS
592

1 author:

Chiraz Masmoudi Charfi
Institut de l'Olivier Tunisie
37 PUBLICATIONS **227** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

Comportement variétal en irrigué View project

PhD Agronomic Sciences View project

All content following this page was uploaded by Chiraz Masmoudi Charfi on 10 October 2017.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

Modélisation de la croissance chez l'olivier. Tome 1

Résumé-Le développement de jeunes oliviers irrigués ‘Chétoui, Meski, Manzanille et Picholine’ a été suivi pendant les six premières années de culture en vue d’élaborer un modèle de croissance type en relation avec le changement des conditions de culture (Tunisie). L'analyse de la dynamique et des modèles de croissance (hauteur, circonférence de la frondaison, diamètre du tronc, rameaux) a été réalisée pour l’ensemble de la période expérimentale et à l'échelle du cycle annuel. Les variations inter et intra annuelles ont été étudiées en relation avec les facteurs 'eau', 'température' et 'évapotranspiration'. Le modèle moyen développé pour la hauteur de l'arbre a montré sept périodes de croissance distinctes. Une croissance estivale (27%) a été observée ; elle est aussi importante que celle de l’automne (26%). Les accroissements annuels maxima ont été enregistrés entre la 4ème et la 5ème année de culture. Le manque d’eau, le climat, la taille de formation, l'entrée en production et la charge en fruits ont influencé le niveau de croissance, sa cinétique et les différences variétales. La mise en relation des paramètres aériens et radiculaires a montré leur étroite corrélation.

Née en 1965 à Tunis (Tunisie). Maitre de Conférences à l’Institut de l’Olivier. Ingénieur Agronome Spécialisé en Horticulture (INAT, 1992). Docteur d’Etat depuis 1998, DEA en Physiologie Végétale (FST, 1997). Prix de l’Association Tunisienne des Sci. Horticoles (1992). Spécialiste en Oléiculture. 30 articles publiés et trois Chapitres d’ouvrages.

978-3-8416-3860-1

Modélisation chez l'olivier

Charfi Masmoudi

Chiraz Charfi Masmoudi

Modélisation de la croissance chez l'olivier. Tome 1

Croissance et Développement

presses académiques francophones

paf

Chiraz Charfi Masmoudi

Modélisation de la croissance chez l'olivier. Tome 1

Chiraz Charfi Masmoudi

Modélisation de la croissance chez l'olivier. Tome 1

Croissance et Développement

Presses Académiques Francophones

Impressum / Mentions légales
Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.
Alle in diesem Buch genannten Marken und Produktnamen unterliegen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz bzw. sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Inhaber. Die Wiedergabe von Marken, Produktnamen, Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen u.s.w. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Information bibliographique publiée par la Deutsche Nationalbibliothek: La Deutsche Nationalbibliothek inscrit cette publication à la Deutsche Nationalbibliografie; des données bibliographiques détaillées sont disponibles sur internet à l'adresse http://dnb.d-nb.de.
Toutes marques et noms de produits mentionnés dans ce livre demeurent sous la protection des marques, des marques déposées et des brevets, et sont des marques ou des marques déposées de leurs détenteurs respectifs. L'utilisation des marques, noms de produits, noms communs, noms commerciaux, descriptions de produits, etc, même sans qu'ils soient mentionnés de façon particulière dans ce livre ne signifie en aucune façon que ces noms peuvent être utilisés sans restriction à l'égard de la législation pour la protection des marques et des marques déposées et pourraient donc être utilisés par quiconque.

Coverbild / Photo de couverture: www.ingimage.com

Verlag / Editeur:
Presses Académiques Francophones
ist ein Imprint der / est une marque déposée de
OmniScriptum GmbH & Co. KG
Bahnhofstraße 28, 66111 Saarbrücken, Deutschland / Allemagne
Email: info@presses-academiques.com

Herstellung: siehe letzte Seite /
Impression: voir la dernière page
ISBN: 978-3-8416-3860-1

Zugl. / Agréé par: Tunis, INAT, Université de Carthage, 2008

Copyright / Droit d'auteur © 2016 OmniScriptum GmbH & Co. KG
Alle Rechte vorbehalten. / Tous droits réservés. Saarbrücken 2016

Dédicace

Je dédie ce travail à mon regretté

PERE

Abdelhamid

Et

Mes remerciements

A ceux qui m'ont aidée pour la

réalisation de ce travail

Chiraz

TABLE DES MATIERES

Résumé	3
Abstract	4
INTRODUCTION	6
A – ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE	12
I - CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT DE L'OLIVIER	12
II - MODELES DE CROISSANCE	44
B–APPROCHE METHODOLOGIQUE	50
I. PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE	50
II. L'OLIVERAIE	53
III. PARAMETRISATION ET SUIVIS	56
C – RESULTATS	65
I –CONDITIONS DE L'EXPERIMENTATION	65
II-ANALYSE QUANTITATIVE	79
III -DYNAMIQUE DE LA CROISSANCE DE L'OLIVIER AU COURS D'UN CYCLE ANNUEL	130
DISCUSSION	154
CONCLUSION GENERALE	178
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	183
ANNEXE	191

Résumé

Le développement de jeunes oliviers a été suivi pendant les six premières années de culture dans le but d'élaborer un modèle de croissance type en relation avec les changements annuels des conditions environnementales et culturales. L'expérimentation a été menée au Nord de la Tunisie sur quatre variétés commerciales : Chétoui, Meski, Manzanille et Picholine. La hauteur de l'arbre, la circonférence de la frondaison, le diamètre du tronc ainsi que la longueur des rameaux ont été suivis sur 12 arbres/variété durant les six campagnes de mesures. L'analyse de la dynamique de croissance des jeunes arbres a été abordée en considérant d'abord l'ensemble de la période expérimentale puis le cycle annuel. Les variations inter et intra annuelles ont été investiguées dans les deux cas en relation avec les facteurs de l'environnement, notamment l'eau, la température et la demande climatique. Des modèles phénologiques ont été élaborés pour les différents paramètres mesurés, qui ont été par ailleurs mis en corrélation. Les résultats ont montré que la hauteur de l'arbre et des diamètres de la canopée et du tronc exhibent une courbe en S avec des accroissements annuels maxima enregistrés entre la 4^{ième} et la 5^{ième} année après la plantation, respectivement de 126 cm, 89 cm et 3,5 cm. Des différences importantes ont été notées entre les variétés après la pratique de la taille de formation et l'entrée en production. Le manque d'eau, la demande climatique, la charge en fruits ont influencé significativement le niveau de croissance et sa cinétique. Le modèle phénologique moyen développé pour la hauteur de l'arbre a montré sept périodes de croissance distinctes, avec des pics en Avril, Juillet et Septembre et une période de quiescence hivernale. La croissance printanière a été la plus importante avec une contribution de 33%. La contribution des vagues de croissance estivale et automnale a été de 27% et 26% respectivement. Cette caractérisation a été abordée en

considérant l'arbre en tant qu'unité intégrée dans le système sol-plante-atmosphère en vue de déterminer sa consommation en eau en rapport avec la demande climatique et le développement du système radiculaire.

Mots clefs : Jeune olivier – variétés –olive - racine – canopée – relation statistique – modèle de croissance.

Abstract

Growth of young olive trees was monitored during the first six years of cultivation in order to set a typical model of growth in relation to the annual changes of the environmental and growing conditions. Experiment was carried out in northern Tunisia on four commercial varieties: Chétoui, Meski, Manzanille and Picholine. Growth measurements of tree height, canopy and trunk diameters and shoot elongation were performed (12 olive trees/variety) during the six campaigns. The growth dynamic of young trees was analysed by considering the overall experimental period and then the annual cycle. Variations within and between years were investigated in both cases with regard to the environmental factors, particularly, water, temperature and the atmospheric demand. Phenological models were elaborated for the different measured parameters which were correlated. Results show an S shaped curve growth for tree height and canopy and trunk diameters with maximum annual rates reached between the 4^{th} and the 5^{th} year after plantation of 126 cm, 89 cm and 3.5 cm respectively. Large differences were observed between varieties and particularly after pruning and fruit set. Water shortage, temperature and fruit load influenced significantly the growth rates and the overall kinetic of the trees. The phenological average model

developed for tree height growth showed seven distinct periods of growth, with maximum rates observed in April, July and September and a long period of rest observed during the winter months. Spring growth was the most important. It accounts for 33% of the total growth while summer and autumn growth contribute with 27% and 26%, respectively. Growth dynamic characterization has been achieved considering the young tree as an integrated unit within the soil-plant-atmosphere system in order to determine the olive tree water consumption in relation to the climatic demand and the development of roots.

Key words: Young olive tree – variety – olive – root - canopy - statistical relationships - model.

Corresponding author: masmoudi.chiraz@yahoo.fr
Address: 17 Avenue Ahmmed Tlili. Carnoy.Menzah V.Tunisie.
Tel/Fax: 21671235820

INTRODUCTION

L'olivier est doté d'une longévité, d'une plasticité et d'un pouvoir de régénération importants, qui font qu'il soit présent partout dans le monde. Actuellement on compte plus de 900 millions de pieds qui sont plantés sur 10,6 millions d'ha dont 96% sont répartis autour du bassin Méditerranéen (C.O.I., 1997). La Tunisie compte près de 70 millions d'arbres cultivés sur 1,7 million d'ha. Ils sont inégalement répartis entre le Nord (225 milles ha), le Centre (675 milles ha) et le Sud (700 milles ha) du pays (O.N.H., 2006) en rapport avec les facteurs climatiques (précipitation) et édaphiques (profondeur du sol et fertilité). Les superficies irriguées ne couvrent que 80000 ha dont 79% sont destinés à la production d'huile d'olive (O.N.H., 2006). Les densités de plantation varient en fonction des potentialités hydriques locales et du mode de conduite adopté (intensive, semi intensive ou extensive). Des écartements de plus en plus serrés sont choisis (7mx7m, 6mx6m) en culture intensive en vue d'augmenter la productivité des oliveraies (Masmoudi-Charfi et al., 2006). Inversement, des écartements importants sont considérés au Centre et au Sud du pays (10mx10m à 24mx24m), permettant l'exploration d'un plus grand volume de sol qui atteint 576m^3 par olivier dans les plantations traditionnelles de la région de Sfax (O.N.H., 2006).

Parmi les variétés adoptées, les cultivars autochtones Meski (olivier de table) et Chétoui (olivier à double fins) constituent le fond des plantations du Nord (Trigui et Msallem, 2002), qui sont caractérisées par de faibles rendements (0,8 tonne/ha en pluvial et de 3,0 tonnes/ha en irrigué). L'association de variétés pollinisatrices comme la Besbessi, la Picholine française et la Manzanille espagnole a permis d'améliorer les productions, qui restent toutefois en deçà du potentiel en raison de l'adoption d'un

paquet technique pas toujours approprié pour le mode de conduite (taille de formation, irrigation, fertilisation…etc.). En effet, pour gérer rationnellement l'olivette, une connaissance approfondie des principaux aspects relatifs au développement de la plante et à son bon fonctionnement compte tenu des conditions environnementales est requise dans le but de maintenir l'équilibre entre les activités végétatives et fructifères. Une attention particulière est à attribuer au développement de l'arbre pendant les premières années de culture, étant donné que le potentiel de production et la durée de la période productive sont intimement liés au développement de l'arbre pendant la période de jeunesse et à son vécu depuis sa multiplication en pépinière jusqu'à son entrée en production.

La plupart des études réalisées sur l'olivier sont expérimentées sur des arbres adultes en pleine production ou sur des oliviers en pots et peu de travaux ont été consacrés à l'évolution du jeune plant en verger et à sa relation avec son environnement. Au cours de cette période de jeunesse, la taille est pratiquée en vue d'orienter le jeune arbre dans la constitution de sa charpente et d'adapter son volume à l'espace qui lui est réservé au champ. La taille de formation puis de fructification ont pour objectif principal l'interception d'une quantité plus importante de lumière, facteur déterminant de la croissance et du développement des arbres mais également, d'équilibrer les parties aérienne et souterraine en vue d'une meilleure distribution des assimilats entre les différents organes de la plante. La répartition des produits de la photosynthèse dépend de leur disponibilité, de l'efficacité du système de distribution de ces produits, de l'état hydrique de la plante et du sol et des conditions climatiques, mais aussi de la charge pendante en fruits et des antécédents productifs qui sont à l'origine de la compétition trophique et de l'alternance de la production. Au fur et à mesure que l'olivier se développe, cette compétition augmente entre les organes sources et puits. Ces

derniers sont représentés principalement par les fruits qui consomment plus des deux tiers des assimilats produits.

Les aspects relatifs à la compétition nutritive ont fait l'objet de nombreuses études (Bignami et al., 1993 ; Cimato et Fiorino, 1986 ; Connor et Fereres, 2005 ; Fernandez-Escobar et al., 1992 ; Fernandez et Moreno, 1999 ; Proietti et Tombesi, 1996). Les résultats ont montré qu'en année de forte charge en olives la croissance des pousses et des racines diminue à l'échelle de l'année mais également pendant les phases critiques de développement de l'olive en particulier durant les processus de nouaison, de durcissement des noyaux et d'induction florale. En année « plus », la taille des entre-nœuds et la surface foliaire peuvent être réduits 40-50% du fait que les olives en développement constituent un puits puissant et peuvent ralentir l'élongation des pousses qui les portent, inhiber l'induction des nouveaux bourgeons à fleurs ou ralentir le développement des bourgeons déjà induits. Ces derniers peuvent se maintenir en état de réversibilité jusqu'à la fin de l'hiver du fait qu'ils ne constituent à ce stade qu'un puits faible et sont soumis à l'effet compétitif des fruits déjà développés. Leur devenir est lié aux conditions de culture et à l'état physiologique et hydrique de l'arbre. Sous des conditions d'alimentation minérale et hydrique peu favorables, le nombre de bourgeons susceptibles d'évoluer en inflorescences diminue, engendrant une faible production; l'olivier entre en alternance. Ce résultat est exprimé par des corrélations significatives établies d'une part entre la longueur de la pousse de l'année et la production de l'année suivante (Samish et Spiegel, 1966) et d'autre part, entre la production de deux années consécutives (Ben Mechlia et Hamrouni, 1978).

Les processus physiologiques et biologiques qui aboutissent à la formation du fruit et à l'élaboration de la production se produisent chez l'olivier pendant une période où l'eau et la température sont des facteurs limitants. En effet, bien que la

croissance de l'arbre soit contrôlée principalement par le mode d'apparition des nouveaux organes, qui déterminent le niveau de production, certains processus morphogénétiques (production de nœuds, expansion des nouvelles feuilles, épaississement des rameaux, …etc.) et physiologiques (transport de la sève et transferts des minéraux et de l'eau) sont fortement influencés par la température, le rayonnement solaire, la demande climatique et l'état hydrique du sol (Bandino et Dettori, 2003 ; Fernandez et Moreno, 1999 ; Mickelakis, 1995). L'interaction entre ces facteurs et la superposition spatio - temporelle des différents processus de croissance et de fructification engendrent des variations importantes au cours des différents stades phénologiques de l'olivier qui sont à l'origine des changements morphologiques observés au cours du cycle bisannuel de l'arbre, et de manière générale pendant sa vie.

La température et le rayonnement affectent significativement la croissance et le rendement de l'olivier. La température agit par ses valeurs optimales, qui sont spécifiques à chaque processus physiologique mais surtout par ses valeurs extrêmes qui peuvent engendrer une baisse plus ou moins importante du rendement (Connor et Fereres, 2005). Elle intervient également par les sommes des degrés-froid et des degrés jours (GDD) accumulées durant une période donnée et permettant l'expression d'un processus donné. Le débourrement des bourgeons ne s'accomplit que lorsqu'ils auraient accumulé au cours de leur quiescence hivernale une certaine somme de degrés-froid, calculée sur la base d'une température de base de 7°C. Ce besoin en froid dépend de la variété. L'allongement des pousses ne démarre que lorsque la température journalière dépasse 13,7°C. La floraison se produit pour un optimum de 18°C et une somme de degrés-chaleur, spécifique pour chaque variété, calculée sur la base de 12,5°C.

Le rayonnement solaire et l'eau sont des facteurs déterminant dans l'élaboration des productions et particulièrement dans les plantations intensives du fait que la majeure partie du cycle productif se produit pendant une période de déficit climatique. Ces facteurs affectent le niveau de transpiration, la photosynthèse et le développement de l'olive dès les premiers stades de l'organogenèse. En particulier, l'induction florale dépend en premier de la quantité de lumière interceptée par la canopée, dont le développement est lui-même lié à la disponibilité de la lumière, en particulier dans les vergers cultivés à haute densité. D'autre part, l'apport de l'eau à la fin de l'hiver au cours de la phase de différenciation des bourgeons floraux favorise la formation de fleurs parfaites, stimule la croissance des pousses au printemps et augmente le nombre potentiel de sites de fructification et de production. Certains auteurs rapportent que l'irrigation en période de croissance printanière atténue l'alternance de la production, active la photosynthèse et stimule la production des assimilats en quantité importante qui assurerait la nouaison et le développement d'un grand nombre de fruits. Lorsque l'apport de l'eau se poursuit pendant la période estivale, une croissance des pousses peut être observée alors que la croissance des olives peut se poursuivre même pendant la phase de durcissement de l'endocarpe (Connor et Fereres, 2005). En automne, la croissance des rameaux est tributaire des apports hydriques et de la température. Elle a été observée chez certains cultivars notamment la Picholine marocaine après les premières pluies de la saison (Boulouha, 1986) ; elle engendre un accroissement plus faible que celui du printemps en raison de la présence compétitive des fruits qui sont à ce stade le siège d'une activité de synthèse et d'accumulation des lipides. L'apport de l'eau pendant la période de nouaison - véraison -au cours de laquelle se produisent simultanément le développement des olives, des pousses et du système radiculaire et l'induction des

nouveaux bourgeons à fleurs- permet de compenser les pertes d'eau par transpiration, qui peuvent atteindre 70 litres / jour et même les dépasser au cours des journées de forte demande climatique (Abid-Karray, 2006). Mais la réponse à l'eau de l'olivier (consommation) dépend de plusieurs paramètres notamment la variété et son adaptation, la charge en olives, l'état physiologique et hydrique de l'arbre, la réserve hydrique du sol, la demande climatique, la quantité d'eau délivrée et la période d'apport.

Le cycle annuel de l'olivier a été élaboré depuis les années 60 et repris et amélioré par de nombreuses auteurs qui ont défini les grandes périodes de croissance et les processus impliqués au niveau de chaque stade (Loussert et Brousse ; Rallo 1998 ; Pansiot et Rebour, 1961), cependant, il n'a pas fait l'objet d'une étude quantitative globale. Les recherches ont été souvent orientées vers la détermination de la réponse de la culture à *un* facteur physique donné. De même, la comparaison des variétés a été souvent abordée à titre comparatif par rapport à un paramètre extrinsèque alors que la réponse de l'olivier doit être intégrée dans une étude globale du système Sol-Olivier-Climat en raison des interactions entre les facteurs extrinsèques et intrinsèques.

Dans ce travail on se propose d'étudier la dynamique de croissance et de développement végétatif ainsi que le comportement fructifère et productif de quatre variétés d'olivier couramment cultivées dans les plantations intensives en relation avec l'alimentation hydrique. L'objectif est de développer un modèle exprimant les besoins en eau de l'arbre en fonction de son développement aérien et radiculaire.

A-ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT DE L'OLIVIER

1. Périodes ontogéniques

L'olivier passe par quatre périodes ontogéniques allant de la période de jeunesse jusqu'à la sénescence (Loussert et Brousse, 1978). La période de jeunesse (1) commence en pépinière et se poursuit en verger. Elle est caractérisée par un développement rapide de l'arbre en particulier au niveau de son système radiculaire. Au cours de cette période, l'oléiculteur procède à la taille de formation qui permet d'orienter l'arbre dans la constitution de sa charpente et d'adapter sa forme et sa vigueur à l'espace qui lui sera réservé au champ. L'entrée en production marque le début de la deuxième période de croissance (2). Elle est observée dès la quatrième année de culture chez les oliviers issus de boutures semi - ligneuses et à partir de la huitième année chez les plantes issues de souchet (Msallem et Masmoudi-Charfi, 1997). Au cours de cette période, le niveau de production augmente progressivement en même temps que se poursuit le développement de l'olivier avec un rythme, cependant, plus lent en raison de l'entrée en compétition des fruits (Proietti et Tombesi, 1996). A l'âge adulte (3), le niveau de production se stabilise mais les rendements à l'échelle de la parcelle et de l'arbre fluctuent sous l'influence de l'alternance de la production (Ben Mechlia et Hamrouni, 1978). L'intensité de cette

alternance dépend de la variété, des interventions horticoles, de la charge pendante et précédente en olives (Proeitti et Tombesi, 1996) et de la disponibilité de l'eau et des nutriments. Sous des conditions favorables de culture (eau, nutriments, sol profond, température comprise entre 6 et 35°C), l'olivier produit au cours de la période adulte (3) de manière plus ou moins stable jusqu'à l'âge de soixante dix ans avant d'atteindre la sénescence (4). A ce stade, le niveau de production diminue en raison du vieillissement des charpentes, de l'absence de renouvellement des pousses et des structures de fructification, favorisant l'augmentation du rapport Carbone / Azote.

2. Développement végétatif

La croissance des rameaux résulte de deux processus complémentaires qui sont l'organogenèse et l'extension de l'apex (Sabatier et al., 2003). Ces processus peuvent se produire de manière synchrone ou différée; dans ce dernier cas ils sont séparés par une période d'inactivité apparente pendant laquelle les feuilles - encore au stade embryonnaire- sont insérées dans le bourgeon. Mais cette règle n'est pas générale. La formation des feuilles chez certaines espèces des régions tempérées peut avoir lieu en même temps que l'allongement de la pousse et sans formation préalable de bourgeon (organes néoformés).

Villemur et al., (1978) distinguent deux modes de croissance chez l'olivier ; *la croissance apicale* (longitudinale) qui est l'extension de l'axe principal se faisant à partir de son bourgeon terminal et *la croissance latérale* qui s'effectue à partir de méristèmes axillaires situés à l'aisselle des feuilles. Ces bourgeons peuvent évoluer en rameaux végétatifs ou rester à l'état quiescent selon leur position sur le rameau. Le développement inégal des bourgeons en fonction de leur position sur le rameau est à l'origine

des phénomènes d'acrotonie et de basitonie qui dépendent de la variété. L'acrotonie correspond au développement des pousses de la région terminale du rameau ; elles sont dominantes et produisent des formes 'type arbre' alors que dans le cas de la basitonie ce sont les pousses de la base qui se développent le plus et produisent une forme 'type buisson' (Msallem, 2002).

Les études portant sur les périodes et modalités d'organogenèse sont rares en raison de leur complexité et à l'utilisation de techniques destructives. La catégorisation morphologique d'axes individuels et de rameaux permet chez une espèce donnée la répétition d'échantillons de structures homogènes : pré condition pour l'évaluation des périodes d'organogenèse et des modalités d'édification de l'arbre (Sabatier et al., 2003).

Selon Suzuki (2000), la pousse est une unité architecturale modulaire dont l'allongement dépend de sa position par rapport au tronc. Le positionnement de ces modules de pousses par rapport à la source est le facteur le plus déterminant dans la modélisation spatiale de la croissance végétative. Les rameaux développés à proximité du tronc (ordre 1) sont plus longs que ceux qui sont placés à l'intérieur de la canopée. Les branches d'ordre deux par définition sont les principaux axes de la canopée. Ils sont à la base de l'extension du système de ramification et de reproduction de l'arbre. Cette extension est soumise chez les ligneux à l'effet de « la dominance apicale » des apex qui exercent une action répressive sur leurs axillaires selon une direction basipète. Cette dominance peut freiner le développement des axillaires, réduire leur vitesse de croissance, leur longueur finale et le nombre d'entre-nœuds et de rameaux latéraux. Elle est influencée par la radiation solaire, la disponibilité des nutriments et des régulateurs de croissance (Bonji et Palliotti, 1994). Lorsque la dominance apicale est pluriannuelle et caractérisée par une faible basitonie, des

formes « excurrentes » de la frondaison sont induites. Celles-ci sont plus favorables aux rendements élevés que les formes « décurrentes » en raison de l'augmentation de la surface foliaire (LAI) qui passe de 2,5 à 4,2 **(figure 1).**

Au cours des différentes périodes ontogéniques, les relations quantitatives et qualitatives dans le rythme biologique de croissance et le développement des pousses de différents ordres dépendent de l'âge des plantes.

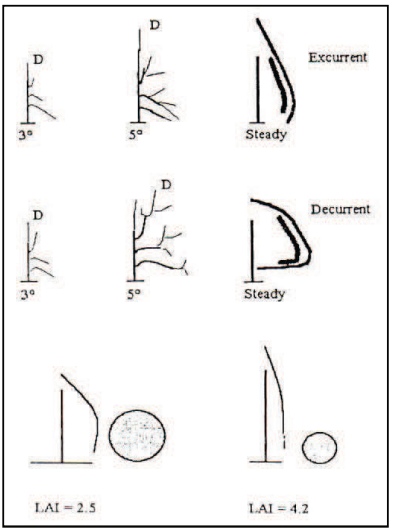


Figure 1. Formes « excurrente » et « décurrente » de la frondaison chez l'olivier et leur effet sur la LAI. Les formes excurrentes favorisent les rendements élevés (Bonji et Palliotti, 1994).

Au cours des premières années, le nombre d'ordres de ramifications est faible. L'intensité de la croissance végétative et la stimulation des bourgeons latéraux sur les rameaux d'un an sont

très élevées. Mais l'apparition de ces rameaux est à l'origine d'une compétition avec l'axe central dont le développement se trouve ralenti et même inhibé (influence inhibitrice en retour) alors que les ramifications continuent à croître exponentiellement au-delà de l'arrêt du développement de l'axe central, dont l'activité se trouve davantage réduite par l'entrée en production. Il en ressort que l'évolution très importante au début de la mise en place du modèle de ramification voit son potentiel végétatif décroître avec le temps et surtout avec le départ des ramifications II et III. Ces résultats montrent que les modèles de croissance des pousses changent pendant le 'vieillissement' confirmant les interprétations de Zimmermann (1972)-cité par Msallem (2002)- qui rapporte qu'après une dominance apicale stricte au départ chez les jeunes arbres (développement du bourgeon apical du plant), le développement des pousses latérales vient progressivement augmenter la complexité du système. Sur le plan pratique ces résultats justifient la nécessité de supprimer la ramification latérale chez les jeunes plants pour favoriser la croissance en hauteur du bourgeon apical. C'est dans ce sens que Lavee (1990)-cité par Msallem (2002)- recommande la conduite de l'olivier en mono axe. Le rythme saisonnier de la végétation change aussi avec l'âge. Les branches des différents ordres sont le siège de différentes intensités et périodicités de croissance en liaison avec les variations saisonnières des conditions extérieures.

3. Cycle bisannuel et stades phénologiques

Le cycle végétatif et reproductif de l'olivier est définit sur une période de deux ans **(figure 2)** au cours de laquelle ont lieu simultanément la croissance des rameaux et la fructification (Rallo, 1998). Ces processus sont contrôlés par des facteurs intrinsèques (potentiel variétal, hormones de croissance, charge en olives…etc.)

et extrinsèques (Bonji et Palliotti, 1994) dont particulièrement le climat et les interventions horticoles.

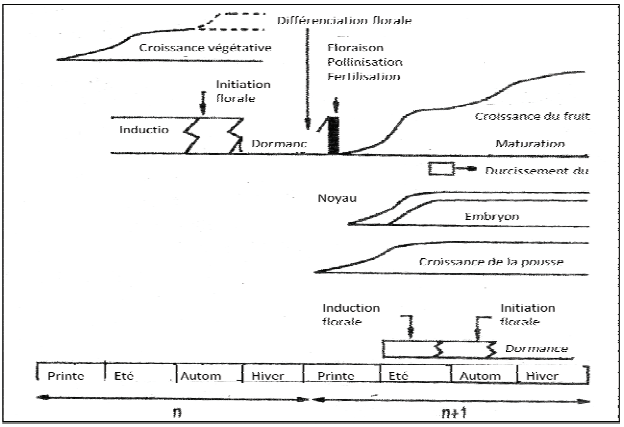


Figure 2. Représentation schématique du développement végétatif et fructifère chez l'olivier sur une période de deux ans (Rallo, 1998).

A la sortie de l'hiver, de nombreux bourgeons axillaires éclosent pour produire soit de jeunes pousses soit des rameaux fructifères. Le développement des bourgeons quiescents ne se produit que lorsque qu'ils auraient accumulé suffisamment de degrés-froid (< 7°C) pour initier leur allongement (Flore et Layne, 1999). Par la suite, l'émission des feuilles et leur développement évolue proportionnellement aux degrés-jours accumulés sur la base d'une température de 12,5°C.

L'allongement des pousses se produit en « *vagues de croissance* » dont le nombre, la durée et l'importance dépendent des conditions de cultures et du cultivar. Chez la plupart des variétés cultivées d'olivier, il existe deux périodes de croissance rapide (Boulouha, 1986 ; Michelakis et Vougioucalou, 1988 ;

Rallo, 1998 ; Villemur et Delmas, 1978). La première est printanière et se produit avant la floraison (Bignami et al., 1993). Elle assure 50 à 80% de l'allongement annuel des pousses. La seconde période de croissance rapide, si elle a lieu, est automnale; elle est généralement observée après les premières pluies importantes de la saison (Abdel-Rahman et Sharkawi, 1974 ; Bandino et Dettori, 2003). La croissance des pousses est dans ce cas bicyclique se faisant en deux vagues séparées par une période de repos végétatif (Sabatier et al., 2003). Un entre-nœud court séparant les deux pousses marque le repos estival de la végétation mais il n'est pas aussi visible que celui qui sépare le bois de deux années successives.

Sous ces conditions, la croissance de l'axe principal de l'olivier évolue en décrivant une courbe de forme sigmoïdale caractérisée par une vitesse initiale de croissance lente qui s'accélère durant la période printanière, passe par un maximum qui se maintient plus ou moins longtemps (évolution asymptotique) puis diminue progressivement jusqu'à l'arrêt de la croissance. Cet allongement terminal résulte du déploiement des parties préformées dans le bourgeon (4 à 6 paires d'ébauches foliaires) et de la néoformation d'axes caulinaires.

Dans les régions tempérées ou sous irrigation, une croissance estivale des pousses a été observées. L'élongation des rameaux, dite dans ce cas monocyclique, se fait en une seule vague de croissance (cv., Picholine du Maroc), de février jusqu'au début de l'été, (Connor et Fereres, 2005 ; Fernandez et Moreno, 1999 ; Proietti et Tombesi, 1996). La **figure 3** montre le cycle annuel de l'olivier cultivé dans la région Méditerranéenne tel que décrit par Pansiot et Rebour (1966) avec indication des périodes de croissance active (vague de croissance printanière et automnale) et ralentie et les stades critiques pour l'eau et l'azote (C.O.I., 1997).

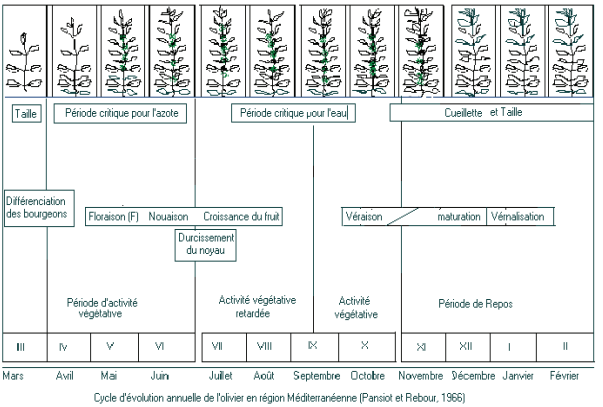


Figure 3. Cycle annuel de l'olivier cultivé dans le bassin Méditerranéen (Latitude 38-40°N) tel que décrit par Pansiot et Rebour (1966) avec indication des stades phénologiques et des périodes critiques pour l'eau et l'azote (C.O.I., 1997).

A la fin de la première période de croissance ou « vague de croissance printanière », les bourgeons à fleurs s'épanouissent. Leur développement dépend des antécédents productifs et des conditions environnementales qui ont sévit depuis leur induction en été (C.O.I., 1997 ; Jacobini, 1993). La **figure 4** décrit l'évolution du bourgeon à fleur au cours des différentes périodes de sa formation jusqu'à l'apparition du fruit selon le modèle rapporté par Loussert et Brousse (1978).

L'induction florale est la première manifestation de l'organogénèse florale (Bandino et Dettori, 2003 ; Fernandez-Escobar et al., 1992 ; Proietti et Tombesi, 1996). Elle démarre en été environ 7 à 8 semaines après la pleine floraison. Au cours de cette période, l'accumulation de la matière sèche au niveau du fruit est faible alors que la croissance végétative peut être importante

lorsque l'arbre se trouve dans des conditions favorables (eau, lumière et nutriments). Chez les arbres vigoureux, le développement des bourgeons végétatifs est favorisé par rapport à celui des bourgeons floraux (Flore et Layne, 1999).

Le processus d'indcution florale se poursuit sans interruption jusqu'à la fin de l'hiver, en marquant deux étapes différenciables (Rallo et Martin, 1991). La première est estivale et réversible, c'est-à-dire que le bourgeon végétatif induit en bourgeon floral peut à ce stade de l'induction redevenir végétatif si les conditions de culture sont défavorables. Une charge élevée en olives peut entraver le développement de ces bourgeons du fait que les fruits en croissance constituent un puits puissant qui draine une quantité importante d'assimilats, pouvant conduire à l'inhibition de l'induction de ces nouveaux bourgeons (Cuevas et Polito, 1997 ; Rallo, 1998). La seconde étape est automno-hivernale mais irréversible.

Les bourgeons induits qui se développent sous des conditions de culture défavorables avortent. Parmi les bourgeons induits certains sont initiés et évoluent en inflorescences, mais on ignore si cela résulte d'une induction incomplète ou de la réversibilité du processus d'induction florale (Connor et Fereres, 2005).

L'initiation florale semble dépendre de la vigueur de l'arbre. Chez le cerisier il existe une forte corrélation négative entre la vigueur de l'arbre et l'initiation de nouveaux bourgeons à fleurs (Flore et Layne, 1999). Chez l'olivier la vigueur de l'arbre ne semble pas être le facteur déterminant de l'initiation des bourgeons à fleurs. Ce processus dépend en premier de l'effet vernalisant des températures basses de l'hiver (< 7°C). Ces besoins varient en quantité et en durée selon le cultivar de 200 à 1000 heures (Hartman, 1953 ; Rallo et Martin, 1991) receuillies sur un minimum de soixante jours de froid et un maximum de 150 jours selon le cultivar (Connor et Fereres, 2005). Chez certaines variétés

ce besoin n'existe pas comme c'est le cas du cultivar Péruvien « Griollo » qui produit convenablement sans aucune exposition préalable aux températures vernalisantes de l'hiver. Il semblerait toutefois que l'arrêt de l'irrigation pendant les mois secs d'hiver dans ces régions (Pérou, 14°S, 398 m) stimulerait la floraison de cette variété (Connor et Fereres, 2005). Parmi les bourgeons initiés certains se différencent en inflorescence environ 8 à 10 semaines avant la floraison (Bandino et Dettori, 2003 ; Cimato et al., 1990 ; Denny et McEachern, 1985 ; Hartmann, 1953 ; Jacobini, 1993).

La taille de l'inflorescence et le nombre de fleurs qu'elle porte dépendent de la variété, de l'état physiologique de l'arbre et de la température. Denny et McEachern (1985) proposent un régime thermique optimal de 2,0-4,0°C pour les minima et 15,5-19,0°C pour les maxima qui assurerait à la fois la vernalisation des bourgeons induits et leur élongation. Mickelakis (1995) indique qu'une exposition pendant une période de deux mois à une température de 10°C est nécessaire pour induire une floraison correcte chez la plupart des variétés d'olivier. Cependant, la floraison ne s'exprime pleinement que lorsqu'une somme de degrés – chaleur est acquise pour chaque variété. Selon Connor et Fereres (2005) cette somme est estimée sur la base d'une température moyenne journalière de 12,5°C ; l'accumulation de ces degrés - chaleur se fait au cours de la période janvier-mars avec un nombre de jours variable selon la variété et un minimum de 70-80 jours. Toutefois, l'intensité de la floraison varie en fonction de la position de la pousse par rapport au tronc, du cultivar et des conditions de l'année ainsi que du mode de conduite.

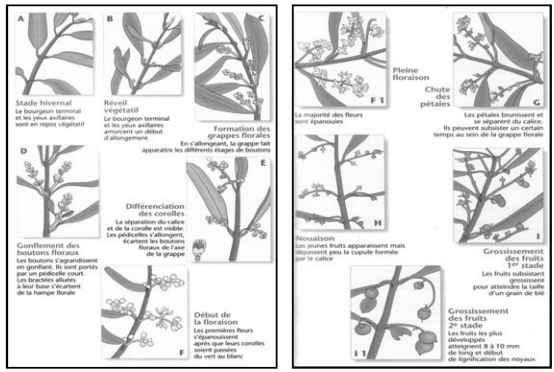


Figure 4. Stades de fructification ou « repères » de l'olivier tel que décrits par De Andrès (1974)-cité par Sanz-Cortès et al., 2002-. Les lettres de A à I se rapportent aux différents stades de développement du fruit indiqués sur chaque photo.

Les fleurs correctement nouées se développent rapidement pendant les premières semaines qui suivent la pleine floraison. La présence de variété pollinisatrice améliore la nouaison de la plupart des variétés et particulièrement de celles qui présentent une auto-incompatibilité partielle ou totale en raison du brassage pollinique et d'un meilleur développement du tube pollinique (Bandino et Dettori, 2003 ; Cuevas et Polito, 1997 ; Tombesi, 1993). Les variétés 'Manzanillo' et 'Meski' sont auto-incompatibles, leur nouaison est significativement améliorée en présence des cultivars 'Sevillano' et 'Besbessi' respectivement.

Les fruits apparaissent deux semaines après la fécondation. L'olive se développe sur le bois d'un an ou plus à partir de fleurs réunies en grappes axillaires (Piedra et al., 1997). Chaque grappe peut porter 30 à 80 fleurs mais généralement un seul fruit se développe par inflorescence (Fernandez et Moreno, 1999). Le taux

de nouaison varie de 1 à 5%, mais il peut atteindre des valeurs plus élevées notamment chez la variété 'Chemlali de Sfax' (Jardak, 1994) chez laquelle le nombre de grappes (Y) est positivement corrélé (r = 0,8) à la longueur du rameau (X, cm) **(Equation 1).**

$$Y = 0,65\ X + 2,65 \quad [1]$$

Les fruits noués se développent rapidement. Un grand nombre est éliminé par éclaircissage naturel environ six semaines après la pleine floraison. Le nombre de fruits restant dépend entre-autres des conditions climatiques qui ont sévit en période de floraison. Les vents forts ou déssechants, les pluies abondantes, le manque d'éclairement et les températures élevées entravent la nouaison et réduisent substantiellement la production (Fernandez et Moreno, 1999).

La croissance de la drupe dure cinq à six mois au cours desquels le fruit passe par différentes phases. Fernandez et Moreno (1999) indiquent que l'olive suit une double sigmoïde **(figure 5)** à trois phases qui se produisent avec une durée et une vitesse variable selon le cultivar et les conditions de culture. Chez certaines espèces à noyaux (cerisier) la durée des stades I et II est inversement proportionnelle à la température nocturne alors que celle du stade III est positivement corrélée à cette même température.

Chez les oliviers irrigués, le modèle de croissance de l'olive semble être différent (Connor et Fereres, 2005) du modèle classique décrit pour les fruits à noyaux (Mickelakis, 2000 ; Rallo et Rapoport, 2001) du fait que la croissance du fruit ne s'arrête pas au cours du stade de sclérification des noyaux qui a lieu quatre à six semaines après la nouaison; néanmoins les trois phases de croissance décrites par Fernandez et Moreno (1999) et Rallo (1998) sont identifiées. Le premier stade (Stade I) est caractérisé par une division cellulaire intense et dure environ vingt jours, au terme

desquels on peut distinguer l'exocarpe, le mésocarpe et l'endocarpe. Selon Rallo et Rapoport (2001), la division cellulaire au niveau du mésocarpe se fait sur une courte période qui représente de 15 à 20% de la durée totale de croissance du fruit. Le stade II caractérise la période de développement de l'embryon. Il est matérialisé par le durcissement du noyau et le ralentissement de la croissance du mésocarpe. Chez les oliviers irrigués la croissance des fruits se poursuit pendant cette période et ne ralenti que lorsque la synthèse des lipides est initiée en raison de l'augmentation du contenu energétique de la matière sèche (Connor et Fereres, 2005 ; Tombesi, 1993). A partir de ce stade et jusqu'à la maturité du fruit (Stade III), l'expansion cellulaire prend de l'importance (Lavee, 1997) alors que le processus de division ne semble pas s'arrêter. Selon Connor et Fereres (2005), 40% des cellules du mésocape peuvent être produites durant cette période. A la véraison, la croissance du fruit est ralentie. L'olive perd progressivement sa chlorophylle et accumule des anthocyanes responsables de sa couleur noire. En année de forte charge en fuits la maturation est retardée, la taille des olives est réduite et l'accumulation de l'huile est ralentie. La **figure 5** illustre la croissance de la drupe en rapport avec l'évolution de l'état hydrique du sol. Sous culture pluviale, l'humidité minimale du sol est observée entre la fin de la période de durcissement du noyau et le début de la période de croissance automnale de l'olive.

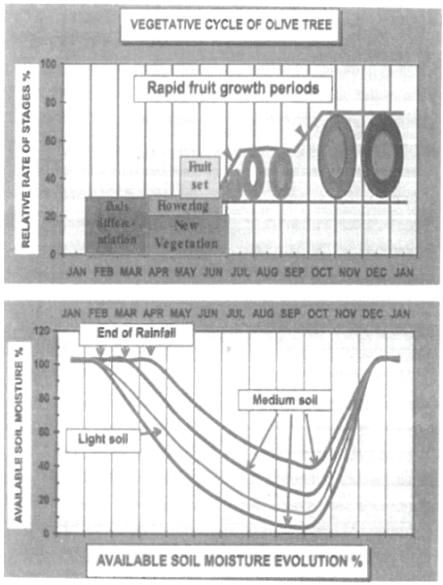


Figure 5. Croissance de l'olive en rapport avec l'évolution de l'état hydrique du sol (Fernandez et Moreno, 1999 - Adapté de Rallo, 1998-).

4. Echelles descriptives des stades phénologiques

Afin de standardiser les observations morphologiques caractérisant la croissance de l'olivier, une première description des stades phénologiques des fruits a été donnée par De Andrès (1974) basée sur l'échelle de Fleckinger (1948)- cités par Sanz-Cortes et al., (2002)- et utilisant les lettres de A à J pour décrire les étapes de développement de l'olive.

Récemment, une échelle bi - digitale a été développée par Sanz-Cortes et al., (2002) basée sur le code de description des céréales (Zadoks et al., 1974)-cité par Sanz-Cortes et al.,(2002)-. L'échelle « BBCH » est adoptée officiellement par « l'Organisation

Européenne de Protection des Plants ». Les stades phénologiques sont décrits par deux chiffres compris entre 0 et 9. Le premier correspond au principal stade de croissance, le second correspond à l'épanouissement de la première fleur. Les **figures 6a, 6b et 6c** décrivent schématiquement les stades phénologiques de l'olivier selon l'échelle BBCH **(Tableau 1)**.

L'échelle BBCH permet de décrire tous les stades de développement qu'ils soient végétatifs ou fructifères contrairement à celle de De Andrès (1974)-cité par Sanz-Cortes et al., (2002)- qui décrit 13 stades phénologiques se rapportant essentiellement au développement de l'inflorescence et à la floraison. Les étapes de développement des olives, des bourgeons, des feuilles et des pousses ne sont pas bien définies ce qui constitue une contrainte lorsque cette échelle est utilisée par exemple pour choisir l'époque d'application des régulateurs de croissance, des pesticides ou pour entreprendre d'autres applications horticoles. Le **Tableau 1** permet de comparer l'échelle phénologique de De Andrès (1974)-cité par Sanz-Cortes et al., (2002)- et celle de la BBCH. De point de vue pratique l'utilisation de chiffres dans l'échelle BBCH permet d'informatiser les données qui décrivent les stades phénologiques, ce qui faciliterait par exemple la comparaison des variétés **(Tableau 1).**

Tableau 1. Correspondance des stades entre les échelles phénologiques de De Andrès (1974) et BBCH (Sanz-cortès et al., 2002).

Echelle de De Andrès (1974)	Echelle BBCH
A : Bourgeon à fleur dormant (Dormant inflorescence bud)	50
B : Débourrement (Swelling inflorescence bud)	51
C : Développement du bourgeon (Cluster development)	54
D : Pétales à peine visibles (Petals just visible)	55
D2 : Pétales plus longues que les sépales (Green petals longer than sepals)	57
D3 : Pétales blanches (Petals whitening)	59
E : Epanouissement de la première fleur (First flower open)	60
F1: Début floraison (Beginning of flowering)	61
F2 : Pleine floraison (Full flowering)	65
G : Nouaison (Fruit set)	69
H : Durcissement du noyau (Stone hardening)	75
I : Véraison (Fruit color break)	81
J : Maturation (Fruit ripening)	89

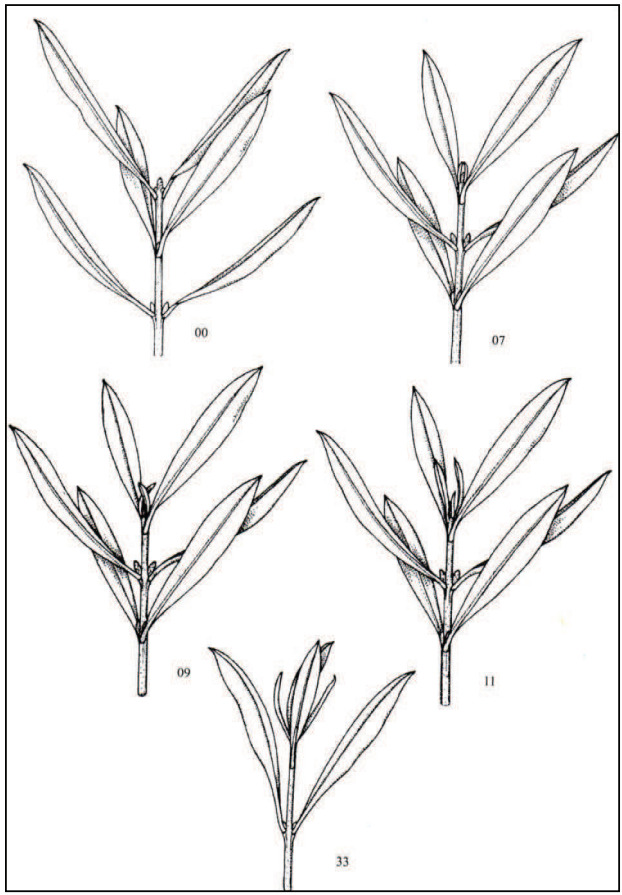


Figure 6-a. Principaux stades de développement des bourgeons, feuilles et pousses selon l'échelle BBCH (Sanz - Cortez et al., 2002). Stade 00 au stade 33.

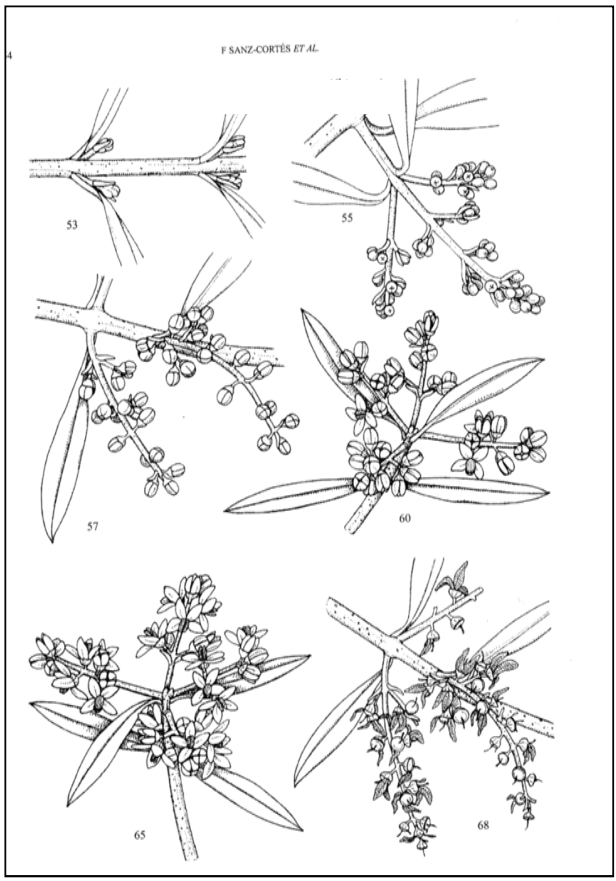


Figure 6-b. Principaux stades de développement des bourgeons, feuilles et pousses selon l'échelle BBCH (Sanz-Cortez et al., 2002). Stade 53 au stade 68.

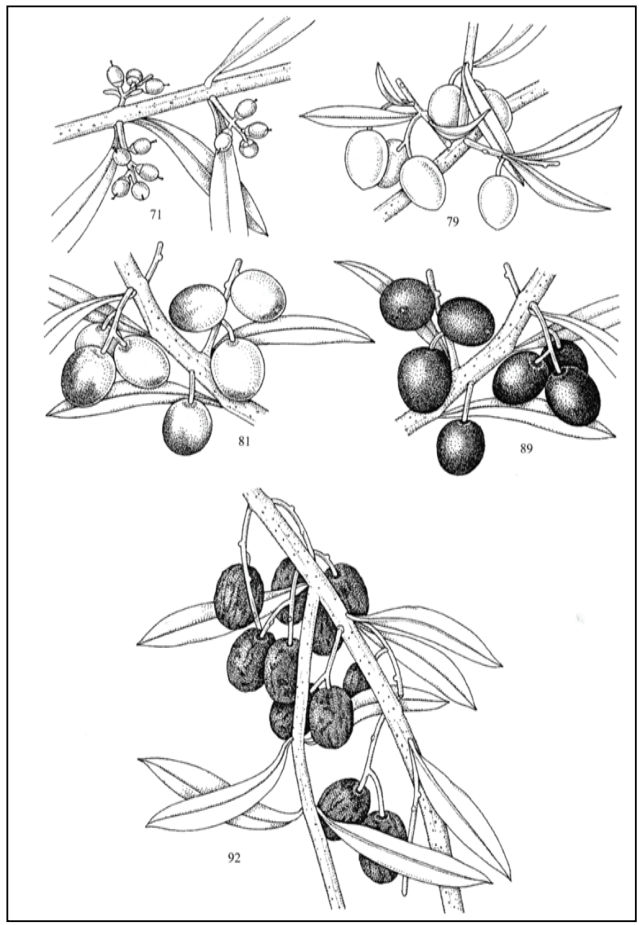


Figure 6-c. Principaux stades de développement des bourgeons, feuilles et pousses selon l'échelle BBCH (Sanz-Cortez et al., 2002). Stade 71 au stade 92.

Légende de la figure 6 (a, b, c)

Stade de croissance "0" : Développement du bourgeon **(figure 6 a)**

00 Les bourgeons foliaires situés au niveau des apex des pousses développées au cours de l'année écoulée sont fermés, pointus et colorés en jaune ocre.

01 Les bourgeons foliaires commencent à s'ouvrir montrant les nouveaux primordia foliaires.

03 Les bourgeons foliaires s'allongent et se séparent au niveau de la base.

07 Des feuilles externes de petite taille s'ouvrent, restant liées au niveau des apex.

09 Ouverture complète des feuilles.

Stade de croissance "1" : Développement de la feuille **(figure 6 a)**

11 Les premières feuilles sont complètement séparées et colorées en vert gris.

15 Les feuilles sont longues sans atteindre leur taille finale. Leur couleur vire au vert.

19 La croissance des feuilles s'achève selon les caractéristiques de chaque variété.

Stade de croissance "3" : Croissance des pousses **(figure 6 a)**

31 Les pousses ont atteint 10% de leur taille finale.

33 Les pousses ont atteint 30% de leur taille finale.

37 Les pousses ont atteint 70% de leur taille finale.

Stade de croissance "5" : Emergence de l'inflorescence **(figure 6 b)**

50 Les bourgeons inflorescentiels dans les feuilles axillaires sont complètement fermés. Ils sont pointus, sans pédoncule et colorés en jaune ocre.

51 Les bourgeons inflorescentiels commencent à se développer.

53 Les bourgeons inflorescentiels s'ouvrent. La structure de l'inflorescence se développe.

54 L'inflorescence se développe

55 L'inflorescence est complètement épanouie. Les bourgeons floraux se développent.

57 La corolle est colorée en vert, plus longue que le calice.

59 La corolle se colore en blanc.

Stade de croissance "6" : La floraison **(figure 6 b)**

60 Ouverture des premières fleurs.

61 10 % des fleurs sont épanouies.

65 Pleine floraison : au moins 50% des fleurs sont épanouies.

67 Chute des premières pétales.

68 Chute de la majorité des pétales.

69 Fin floraison et nouaison. Les ovaires non fécondées chutent.

Stade de croissance "7" : Développement du fruit **(figure 6 c)**

71 Le fruit atteint 10% de sa taille définitive.

75 Le fruit atteint 50% de sa taille définitive. Durcissement du noyau.

79 Le fruit atteint 90% de sa taille définitive. Fruits prêts à la récolte en vert.

Stade de croissance "8" : Maturité des fruits **(figure 6 c)**

80 Fruits colorés en verts virent au vert clair ou au jaune.

81 Début de coloration de l'olive.

85 Coloration plus intense de l'olive.

89 Récolte : couleur spécifique du cultivar, fruit turgescent et prêt à l'extraction de l'huile.

Stade de croissance "9" : Sénescence **(figure 6 c)**

92 Fruits perdant leur turgescence et commencent à chuter.

5. Développement radiculaire

Le développement des racines est déterminé génétiquement mais il est modifié par les conditions chimiques et physiques de l'environnement où elles se développent.

Chez l'olivier, la croissance des racines précède celle des pousses et se fait selon un développement bimodal. Certains travaux indiquent que les racines se développent aussi pendant l'été; dans ce cas, leur croissance se fait en une seule vague de croissance, commençant avant le débourrement des bourgeons végétatifs et se terminant au moment de l'entrée en quiescence de l'arbre. Vernet et Mousset, (1962) et Yankovich et Berthelot (1947) ont montré que l'olivier développe durant les premières années de culture (2-4 ans) un enracinement ramifié, horizontal et superficiel (20-30 cm) sous forme de chevelu radiculaire fin à partir duquel il s'alimente dans les conditions favorables.

Différentes techniques d'exploration ont été utilisées. La plus connue est celle de la tranchée (Mickelakis et Vougioucalou, 1988) avec prélèvement d'échantillons à la tarière autour de l'arbre (Nunuez-Aguilar et al., 1980-cités par Fernandez et Moreno, 1999)-. Dans d'autres études les observations ont été faites sur des systèmes radiculaires en place mis à nus par excavation. En Egypte, Abdel-Rahman et al., (1966)-cités par Fernandez et Moreno (1999)- ont remarqué que les racines de jeunes oliviers âgés de sept ans cultivés en pluvial sous 150 mm de pluie étaient confinées à la tranche superficielle du sol (15-30 cm) à environ 30 cm du tronc. En Sardaigne Pisano et Corrias (1971)-cités par Fernandez et Moreno (1999)- ont observé après excavation d'oliviers irrigués âgés de sept ans un développement horizontal et superficiel des racines aussi bien sur la ligne d'olivier qu'en dehors de celle-ci. En Espagne, -Nunuez-Aguilar et al., (1980)-cités par Fernandez et Moreno (1999)- ont observé sur des oliviers Manzanille cultivés en

pluvial et âgés de douze ans que la plupart des racines avaient moins de 0,5 mm de diamètre et qu'elles étaient essentiellement localisées dans les couches superficielles et à 45 cm du tronc. Ces résultats sont similaires à ceux qui sont présentés par Fernandez et al., (1991) qui ont observé les plus fortes densités radiculaires à 20-40 cm de profondeur et à 50 cm du tronc. Les racines les plus profondes ont été observées à deux mètres en irrigué (Fernandez et al., 1991 ; Palease et al., 2000) et à six mètres en pluvial (Ben Rouina et al., 1996).

La densité radiculaire permet d'apprécier quantitativement l'importance du système radiculaire. Elle est définie par le rapport de la longueur des racines par unité de volume du sol (Newmann, 1966). Les racines extraites d'un volume de sol connu sont comptées en adoptant une échelle de référence. Pour ce faire, elles sont versées dans un plateau en verre à fond plat, de surface (A), à travers laquelle on détermine le nombre d'intersections (N) entre les racines et les axes d'une grille de longueur totale (H, cm) placée sous le plateau. La longueur des racines (L, cm) est donnée par **l'équation 2.**

$$L = 3,14 * N * A / 2 H \quad [2]$$

Pour standardiser les observations, Tennant (1975) propose un comptage sur une grille quadrillée d'une surface unitaire de 0,5, 1,0, 2,0 ou 3,0 cm^2. Le choix de l'unité de la grille dépend de la taille des racines. Le comptage est effectué en donnant « une note » qui dépend de la longueur de la racine. Lorsqu'un segment de racine coupe une verticale ou une horizontale de la grille on attribut un compte de « un »; lorsqu'il coupe deux lignes parallèles on donne un compte de «deux ». La longueur des racines (L, cm) est exprimée par **l'équation 3** en fonction du nombre

d'intersections (N) grille-racine et de la surface unitaire de la grille utilisée (U, cm^2).

$$L = 11/14 * N * U \quad [3]$$

La densité radiculaire (D_r, cm de racine par cm^3 de sol) est exprimée par **l'équation 4** en fonction de la longueur des racines (L, cm) et du volume de l'échantillon de sol (V, cm^3).

$$D_r = 0,1 * L * V^{-1} \quad [4]$$

Les recherches réalisées en Espagne ont montré que les densités radiculaires chez l'olivier sont faibles par rapport à celles qui sont observées chez les espèces herbacées ou certaines espèces à noyau. Les valeurs habituellement varient de 0,1 à 1,0 cm cm^{-3} mais peuvent atteindre 6 cm cm^{-3} (Connor et Fereres 2005). Les valeurs élevées n'indiquent pas nécessairement une forte activité radiculaire. Celle-ci peut être plus importante dans les zones à faible densité, compensant leur nombre (Fernandez et al., 1991).

Les observations effectuées in situ au moyen de mini-rhizotrons au domaine expérimental de *La Hampa* en Espagne ont permis de comparer la distribution des racines d'arbres soumis à différents traitements hydriques (Fernandez et Moreno, 1999). Chez l'olivier Manzanille âgé de 20 ans et cultivé selon l'écartement de 7mx7m, Fernandez et Moreno (1999) ont montré que la densité la plus élevée (1,17 cm cm^{-3}) se trouvait sur la ligne des goutteurs, en surface (20-40 cm) et proche du tronc (50 cm). Elle est beaucoup plus faible sous les goutteurs à cause du manque d'aération. En profondeur, les racines sont moins denses (0,36 cm cm^{-3}). Cette densité varie toutefois selon le mode de conduite avec des valeurs maximales de 0,17 cm cm^{-3} en pluvial et 0,22 cm cm^{-3} en irrigué donnant une longueur totale par arbre respectivement de

42,4 et 53,6 km de racines pour un volume de sol de 24 m^3. Chez l'olivier Coratina âgé de six ans et cultivé selon l'écartement de 6mx3m au Sud de l'Italie ces valeurs ont été respectivement de 2,5 et 3,7 km par arbre (Dichio et al., 2002 ; Palease et al., 2000).

Le marquage des racines d'oliviers adultes au ^{32}P a révèlé une plus forte activité radiculaire à 50cm du tronc et à une profondeur de 60 cm. Sur la base de ces observations certains auteurs recommandent l'application des fertilisants à 50 cm de profondeur et simultanément à proximité du tronc et à l'aplomb de la frondaison du fait que la zone de forte densité radiculaire correspond en général à une zone de plus grande capacité d'absorption de l'eau. Ce résultat, rapporté pour la première fois par Nunuez-Aguilar et al., (1980)-cités par Fernandez et Moreno (1999)- a permis de lier la longueur du système radiculaire à sa capacité d'absorbption de l'eau et qui se traduit en terme de balance hydrique par la capacité des racines à subvenir aux besoins de la transpiration de la frondaison. Pour une valeur de LAI de 0,4 estimée pour une plantation de 204 pieds / ha correctement entretenue, le rapport de la longueur des racines par LAI varie de 2,2 à 2,7 km m^{-2}. Moreno et al., (1996) ont pu estimer l'activité des racines par la mesure du flux de la sève au niveau des principales racines d'olivier Manzanille cultivée à *La Hampa* en utilisant la méthode d'impulsion de chaleur. Les résultats obtenus ont montré une réponse à l'eau est très rapide chez les arbres soumis à un stress hydrique prolongé, qui se traduit par la présence de flux diurnes importants dans les couches internes de la racine et des flux nocturnes, engendrés par le recouvrement des pertes d'eau diurnes faites à partir des tissus de stockage. Au niveau des vaisseaux xylémiens externes de la racine, le flux nocturne est absent chez les arbres régulièrement irrigués alors qu'il présente des valeurs élevées au niveau des racines d'arbres irrigués après une longue

période de stress (Cohen et al., 1983 et 1991 ; Fernandez et al., 2003).

L'efficacité du système radiculaire vis-à-vis de l'apport hydrique est aussi liée au rapport racine / frondaison qui évolue en fonction de l'âge mais différemment selon que les plants soient irrigués ou non (Xiloyannis et al., 1999 ; Fernandez et al., 1990 ; Clothier, 1994). Cependant, la dynamique de croissance des racines bien qu'elle soit affectée par l'irrigation dépend étroitement de la croissance des organes aériens et de la compétition entre les organes sources et puits. Le rapport entre les parties souterraine et aérienne est plus élevé chez les plants non irrigués du fait que les racines occupent un volume de sol plus important que celui d'arbres soumis à l'irrigation localisée (Fernandez et Moreno, 1999). Pour ces derniers, l'activité radiculaire s'étend du printemps jusqu'à l'automne alors que celle des racines d'oliviers non irrigués est quasiment limitée au printemps.

Le fonctionnement du système radiculaire est lié à celui de la canopée. Cruizart (1990) met en évidence des inter relations étroites entre une partie de la frondaison et une racine. Msallem (2002) quantifie cette relation pour de jeunes plants d'oliviers issus de graines et cultivés en pots. Il conclu que le développement de ces deux parties est concomittant et de ce fait le développemnt de la partie aérienne dépend étroitement de celui des racines. En outre, le développement des racines III est corrélé au nombre total de feuilles portées par la partie aérienne alors que la longueur totale des rameaux est fonction de la longueur des racines II. Cette relation est sous le contrôle d'hormones de croissance en particulier de l'acide abscissique qui intervient dans le mécanisme d'ouverture et de fermeture stomatique. Fernandez et Moreno, (1999) rapportent à cet effet que les racines soumises à un stress hydrique emettent des signaux selon un mécanisme chimique et hydraulique,

engendrant la fermeture des stomates et permettant de ce fait la réduction des pertes d'eau par évapotranspiration.

Par conséquent, le développement de la partie végétative est un bon indicateur de l'état de croissance des racines et d'un équilibre entre les deux parties. Un bon entretien de la partie radiculaire assuré par une alimentation hydrique et minérale rationnelles permettra en retour un développement optimal de la canopée.

6. Relations source - puits et compétitions trophiques

6.1. Photosynthèse

La croissance résulte de l'accumulation des produits de la photosynthèse qui a lieu principalement au niveau des feuilles jeunes et du tiers supérieur du couvert végétal. Les réserves en carbohydrates sont nécessaires pour assurer l'alimentation de la plante au moment de la dormance, au cours de l'initiation de la croissance au printemps mais également durant les périodes de stress. L'amidon est le principal produit mis en réserve alors que le sucrose est le carbohydrate soluble prédominant.

Chez les ligneux, les réserves en carbohydrates fournissent au moment du débourrement les nutriments nécessaires pour assurer le développement de l'arbre jusqu'à ce que sa surface foliaire soit suffisamment développée pour couvrir la demande des puits. Chez le pommier les rameaux ne commencent à exporter le carbone à l'ensemble de la plante que 15 à 25 jours après le débourrement. Les pousses courtes commencent avant les pousses longues. Pour le cerisier les exportations nettes à partir d'une pousse terminale ne démarrent que 17 jours après l'émergence des feuilles. A ce stade la pousse aurait accumulé le quart de la matière sèche totale.

Le niveau de photosynthèse dépend de facteurs endogènes et exogènes, notamment le rayonnement, la température et la disponibilité en eau (Green 1993 ; Caspari et al., 1993 ; Proietti et Tombesi, 1996). Il augmente avec l'augmentation du rayonnement PAR jusqu'à une valeur saturante qui représente 30 à 50 % de l'éclairement maximal (Flore et Layne, 1999). Pour une densité de flux de photons saturante de 800-1000 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, Connor et Fereres (2005) ont rapporté des valeurs maximales de la photosynthèse variant de 14 à 22 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} selon la variété. Ces valeurs sont plus faibles que celles qui sont observées chez d'autres espèces de type C_3. Sous éclairement réduit, les pousses végétatives sont plus longues, le nombre de rameaux latéraux augmente et le poids sec de la biomasse produite par l'arbre diminue. En dessous de 20% de l'éclairement maximal, la fructification est affectée.

La température affecte la photosynthèse. L'optimum se situe à 28°C pour la plupart des cultivars d'olivier. En dehors de cet optimum, la photosynthèse diminue. A 10°C, elle est estimée à 10% de la photosynthèse maximale. A 40°C, le niveau de photosynthèse est réduit de plus de la moitié de la valeur maximale avec des différences variétales. Le cultivar Manzanille maintien les valeurs les plus élevées (80% de la photosynthèse maximale).

La photosynthèse diminue aussi sous l'effet du stress hydrique (Nogués et Baker, 2000 ; Moriana et al., 2002) en raison de l'accumulation de l'acide abscissique dans les feuilles. Sous l'effet du stress, le potentiel de la feuille et du sol diminuent ainsi que la conductance stomatique jusqu'à s'annuler suite à une fermeture des stomates. Pour des valeurs de potentiel hydrique du sol de – 4,5 MPa, la photosynthèse est linéairement corrélée à la conductance stomatique. Pour des valeurs plus faibles, le contrôle stomatique est perturbé. Les plants affectés par le stress hydrique

accumulent les carbohydrates et les réserves minérales en raison de la faible activité des puits et la faible disponibilité de l'eau.

Le stress hydrique affecte la répartition de la matière sèche différemment selon la saison, le climat et la force des différents organes. Le stress survenant au début du printemps affecte en premier la croissance des racines puis celle de la partie aérienne par ordre de priorité : allongement des pousses- émergence des nouvelles feuilles et diamètre du tronc. Au moment du durcissement du noyau, la croissance végétative est affectée par le manque d'eau plus que la croissance des fruits étant donné que l'accumulation de la matière sèche au niveau du fruit est faible au cours de cette période. Pendant le stade III de croissance du fruit, le stress hydrique affecte aussi bien la croissance de l'olive que celle des pousses.

La production de matière sèche est également affectée par la position de la feuille par rapport à la source, l'âge de l'arbre et la charge en fruits. Les feuilles proches des fruits ont une activité photosynthétique plus élevée que celle des feuilles éloignées. Chez les jeunes arbres, la photosynthèse atteint des niveaux plus faibles que ceux qui sont observés chez les arbres adultes en raison du nombre réduit de fruits. Chez les arbres adultes, le niveau de photosynthèse est certes plus important mais varie considérablement en fonction de la charge en olives. Il peut être réduit par feed-back à la suite d'un éclaircissage en raison de l'accumulation d'une quantité importante de carbohydrates au niveau des feuilles qui aurait dû alimenter les fruits. Un déséquilibre momentané entre les organes puits et source est alors crée conduisant à une redistribution des réserves aux puits.

6.2. Rapports Source - Puits

Les notions de 'source' et de 'puits' se réfèrent à l'offre et à la demande en assimilats. La source est caractérisée par sa « force » qui représente la capacité des tissus assimilateurs à synthétiser des métabolites disponibles à l'exportation (Proietti et Tombesi, 1996). Chez l'olivier il existe deux sources d'assimilats : les sucres synthétisés au niveau des feuilles et transportés par le phloème et ceux qui sont formés par photosynthèse au niveau des fruits et qui contribuent au développement du mésocarpe. Les olives représentent les organes puits les plus puissants. Les jeunes fruits exposés à la lumière sont capables de fixer 80% du CO_2 absorbé. Leur capacité de stockage varie de 400 µmol mol^{-1} CO_2 (olives vertes) à 800 µmol mol^{-1} CO_2 (maturation).

Les relations sources - puits sont exprimées par le rapport du nombre de fruits (F) par la surface foliaire (SF), qui est caractéristique de l'espèce et de la variété. La taille du fruit, le taux de chute et la date de maturation en dépendent (Proietti et Tombesi, 1996). Chez le cerisier le calibre est réduit si le rapport est inférieur à 2. L'éclaircissage précoce des fruits modifie ce rapport en faveur des fruits (Flore et Layne, 1999). Il joue un rôle fondamental dans la régulation des mécanismes de l'alternance chez l'olivier (Rallo, 1998 ; Sanchez Raya, 1990).

6.3. Répartition des assimilats et compétition trophique

La répartition des assimilats entre les différents organes végétatifs et reproductifs de la plante dépend de leur disponibilité, des possibilités de leur mise en réserve, de la force du puits, de la distance qui sépare le puits de la source, de la capacité du système de distribution et de translocation vers les organes puits (Flore et Layne, 1999) et de facteurs externes comme l'eau, les températures

extrêmes et l'éclairement (Flore et Layne, 1999 ; Mariscal et al., 2000 ; Proietti et Tombesi, 1996). Elle est régie par la compétition (Poli, 1979) et suit un ordre de priorité qui évolue pendant la saison. Durant la floraison, l'ordre est « racines > jeunes feuilles > fleurs » et se transforme en « fruits > jeunes feuilles > racines » sur un olivier en fructification. Les pousses constituent un organe puits de force moyenne (Proietti et Tombesi, 1996) alors que les organes de réserve de la plante (racine, tronc) sont toujours les moins prioritaires bien qu'ils jouent un rôle primordial dans la translocation des assimilats au moment du débourrement des bourgeons (Flore et Layne, 1999) de l'induction florale et en conditions de forte charge en fruits (Proietti et Tombesi, 1996) et de sécheresse. La mobilisation des réserves commence 15 jours après la pleine floraison et se poursuit jusqu'au moment où les feuilles produisent suffisamment d'assimilats pour couvrir la demande des puits. Les fruits s'alimentent en priorité à partir des pousses mères. Lorsque les quantités d'assimilats sont insuffisantes, ils s'alimentent à partir de sources plus éloignées au dépends du calibre de l'olive.

La présence des fruits sur les rameaux âgés d'un an réduit la croissance des pousses en particulier pendant les périodes de nouaison, de durcissement des noyaux et d'induction florale (Cimato et Fiorino, 1986 ; Proietti et Tombesi, 1996) jusqu'à 50% pour les nouveaux entre-nœuds et 40% pour la surface foliaire (Connor et Fereres, 2005). Durant la première période de grossissement des olives, 85% de la biomasse produite est utilisée par les fruits, 10% par les nouvelles feuilles et 5% par les racines alors que la biomasse des pousses existantes n'augmente pas. Lorsque la charge en fruits est importante, les olives en croissance peuvent inhiber l'induction de nouveaux bourgeons ou ralentir le développement des bourgeons déjà induits qui peuvent se maintenir en état de réversibilité jusqu'à la fin de l'hiver (Fernandez et

Moreno, 1999). Au moment de la différenciation florale, les bourgeons qui constituent à ce stade un puits faible, sont soumis à l'effet compétitif des fruits non récoltés (Cimato et Fiorino, 1986 ; Connor et Fereres, 2005 ; Fernandez-Escobar et al., 1992 ; Proietti et Tombesi, 1996).

Sur le plan quantitatif, Bignami et al., (1993) ont montré qu'en année « plus » la vitesse de croissance des pousses chez les variétés « Maurini, Canino, Pendolino et Leccino », ainsi que le nombre d'entre-nœuds et de bourgeons latéraux sont plus faibles par rapport à l'année « moins ». Il en résulte une réduction de la production. L'olivier alterne. Ce résultat est exprimé par des corrélations significatives entre la longueur de la pousse de l'année et la production de l'année suivante d'une part (Samish et Spiegel, 1966) et les productions de deux années successives d'autre part (Ben Mechlia et Hamrouni, 1978). Cependant et bien que ces processus de croissance, de fructification et de production se produisent de manière synchrone dans le temps et dans l'espace, ils subissent d'importantes variations intra et inter annuelles en rapport avec l'âge des plants, les conditions environnementales et les interventions horticoles. D'où l'intérêt de les quantifier sur une période suffisamment longue pour pouvoir dégager et choisir les options expérimentales et horticoles les mieux adaptées au système étudié.

CHAPITRE II

MODELES DE CROISSANCE

1. Définition

« Un modèle de croissance est une représentation simplifiée d'un processus complexe, qui intègre tous les mécanismes physiques, chimiques, biochimiques, biologiques…etc. » (Schwartz et al., 1997). Le modèle peut être physique ou abstrait. Il est représenté par une ou plusieurs équations. Une régression linéaire est un modèle.

Les relations microclimat - culture - production sont liées aux processus biologiques qui se produisent durant le cycle annuel de la culture et aux facteurs de l'environnement, notamment la température et l'eau. La compréhension de ces relations et la modélisation d'un événement permettent de définir les pratiques agronomiques nécessaires pour optimiser la production. Par exemple, les modèles phénologiques établis pour prédire la date de floraison chez le pêcher sont élaborés sur la base de la satisfaction des besoins en froid de la culture (Schwartz et al., 1997). Ils permettent d'indiquer le moment opportun d'intervention pour protéger la culture de l'effet du gel.

2. Types de modèles

2.1. Modèles statistiques

Les modèles statistiques décrivent les relations entre des variables sans tenir compte de leur signification biologique. Ils sont

construits à partir de lois statistiques et sont utilisés généralement pour la prévision des rendements. La régression est utilisée pour exprimer une relation statistique entre une variable dépendante, en l'occurrence la croissance, avec plusieurs variables indépendantes prévisionnelles à un moment donné (Schwartz et al., 1997). Dans le cas de la modélisation phénologique, ce temps est associé à un événement phénologique spécifique telle que la date de floraison, simulée en fonction de la somme des degrés jours. De tels événements varient en fonction de la localité et de l'année et ne dépendent que de la température.

En agronomie, l'outil le plus utilisé est la régression linéaire ou non linéaire, simple ou multiple. Ce modèle est simple dans sa nature et dépend dans une large mesure de la conception du modèle et de la répétitivité des données utilisées (Haffani, 1997 ; Bonachela et al., 1999 ; Villalobos et al., 2000).

'Le modèle de réponse à l'eau' est un modèle statistique (Dewit, 1958-cité par Haffani, 1997-) qui relie le rendement cumulé (Y) à la transpiration (T) cumulée. Il est exprimé par **l'équation 5 :**

$$Y = K_c \, T / E_o \quad [5]$$

E_o représente l'évaporation d'une surface libre et (K_c) le coefficient cultural.

Riou (1993) exprime le rendement en matière sèche (Y) en fonction de la consommation en eau (ETR) par **l'équation 6:**

$$Y = a \, ETR + b \qquad [6]$$

L'expression de ce modèle par rapport à Y_{max} et ETM permet de comparer les résultats **(Equation 7).** Le modèle s'écrit:

$$Y / Y_{max} = [c\ ETR / ETM] + d \quad [7]$$

Le rendement maximal est supposé coïncider avec l'ETM.

Chez le Pacanier, Wright et al., (1990) expriment le nombre de bourgeons à fleurs (B) susceptibles d'évoluer en fruits en fonction de la circonférence du tronc (CT), du nombre de bourgeon par branche (Bb), du coefficient de compétition entre les arbres (CC), du nombre de jours après débourrement (D) et du rendement (R). La régression linéaire (R^2 = 0,869) est exprimée par **l'équation 8** tel que :

$$\ln B = 2{,}112 + 0{,}634\ \ln Bb + 0{,}00119\ CT - 0{,}0701\ \ln CC + 0{,}00639\ D + 0{,}728\ R \quad [8]$$

Le modèle de Schwartz et Marotz (1986) exprime la date de floraison chez le Pêcher par une régression multiple **(Equation 9)** avec «date », le jour julien, B_i des coefficients et x_i les variables indépendantes. Ce modèle peut être utilisé pour différents stades phénologiques.

$$1000/date = Bo + (B_1X_{i1} / date) + (B_2X_{i2} / date) + (B_nX_{in} / date) + e_i \quad [9]$$

Chez l'olivier, Ben Mechlia et Hamrouni (1978) montrent que la production d'une année n, (P_n) dépend de la production potentielle de l'arbre (P) et de celle de l'année qui précède. Ils expriment cette relation par une relation linéaire **(Equation 10)** en tenant compte de l'alternance de production et de la dose d'irrigation avec b: la pente de la régression.

$$P_n = P - b \times P_{(n-1)} \quad [10]$$

Le coefficient de régression est de 0,96. Les pentes des droites de régression correspondant aux doses de 400, 600 et 800 mm an^{-1} ont des valeurs qui tendent vers 1, ce qui se traduit par une accentuation du phénomène de l'alternance. Pour le traitement correspondant à 300 mm / an, la pente atteint 1,28 et l'alternance est atténuée.

2.2. Modèles semi – empiriques

Le modèle semi-empirique est intermédiaire entre le modèle statistique et le modèle de simulation. Il tient compte toutefois de la physiologie de la plante. Comme exemples, nous citons les modèles théoriques de croissance.

La croissance, quelle soit exprimée en longueur, en surface ou en matière sèche (W) suit une courbe sigmoïdale, exponentielle ou parabolique (Blumenfield, 1980). Certaines phases de cette courbe sont même linéaires. Il est donc possible de les modéliser. Storey et Treeby (1999) rapportent un modèle expo - linéaire pour décrire la croissance des pommes et des Navels pendant le premier et le second stade de développement des fruits. Chez les Navels, la courbe montre deux phases linéaires de croissance séparées par une inflexion. Ces phases traduisent deux phénomènes biologiques : la division cellulaire (R^2 = 0,98) et l'élargissement des cellules (R^2 = 0,93). L'inflexion correspond à une phase de transition entre ces deux processus biologiques. Elle peut traduire également un changement dans l'équilibre de la balance des carbohydrates entre les organes sources et puits suite à une chute significative de fruits. La phase linéaire de la courbe correspond à un régime stationnaire pour tous les phénomènes impliqués dans la croissance. Le passage de cette phase à la phase concave traduit un ralentissement du

phénomène décrit. La considération simultanée de phases accélérées et décélérées conduit à un modèle dit « logistique ». Les fonctions logistiques utilisées dans les modèles de croissance sont utiles car les paramètres utilisés ont une signification biologique, telle que les maxima et minima asymptotiques et les points d'inflexion, traduisant une vitesse de croissance maximale. Cette logistique est exprimée par **l'équation 11.**

$$W = W_{max} / (1+ e^{-RGR\ (1-t\ 1/2)}) \qquad [11]$$

$t_{1/2}$ représente le temps au bout duquel, la masse (W) atteint la moitié de sa valeur maximale (W_{max}). RGR est la vitesse de croissance relative.

Les phénomènes physiologiques peuvent être illustrés par des fonctions asymétriques telle que la fonction de Gompertz **(Equation 12)** (Stanley et al., 2000). Elle s'écrit :

$$dW / dt = \mu_o \times W e^{-st} \qquad [12]$$

avec μo le taux de croissance spécifique à t = 0, W est la matière sèche et S est le paramètre de sénescence.

Stanley et al., (2000) ont corrélé la croissance des pommes à la température moyenne et à la somme des degrés jours $GDD_{10°C}$. Le modèle de prévision obtenu a montré que la prévision de la croissance en relation avec $GDD_{10°C}$ est d'autant plus faible que l'intervalle de prévision est important. Les meilleures corrélations entre le poids des fruits et $GDD_{10°C}$ sont obtenues entre le trentième et le cinquantième jour après la pleine floraison, avec un coefficient de variation allant de 71 à 96%. Dans ce modèle, la croissance des

pommes est exprimée en fonction des changements saisonniers par **l'équation 13**.

$$Y = c \exp (\exp b) / \exp [\exp (b - k * DAPF)] \qquad [13]$$

Avec Y, le poids moyen du fruit, (c, b et k) les paramètres de Gompertz, c est la mesure du poids initial et DAPF est la date après la pleine floraison. Ce modèle est amélioré lorsque la croissance des fruits est exprimée en fonction des températures moyennes de chaque intervalle de prévision.

2.3. Modèles de simulation

Les modèles de simulation sont des modèles complexes intégrant des réactions intrinsèques liées à la culture, les facteurs environnementaux et leurs interactions. Dans de tels modèles les changements d'états sont décrits par des équations mathématiques mettant en évidence les facteurs limitants de la croissance. Ils sont organisés le plus souvent en quatre modules : un module phénologique, un module de production de biomasse, un module de répartition et de redistribution et un modèle de contrainte. Parmi ces modèles on peut citer le modèle « DART » (Demarez et al., 2000) qui simule l'effet de l'architecture de la couverture du sol et des effets de bords sur les transferts radiatifs et l'activité photosynthétique d'un milieu fini. Ce modèle est exprimé en fonction du LAI et de la radiation PAR.

B - APPROCHE METHODOLOGIQUE

CHAPITRE I

PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

1. Localisation

Le site expérimental se trouve dans la plaine de Mornag (Latitude 36,8°, Altitude 10 m) qui est située au Sud du Gouvernorat de Ben Arous à environ 15 km de la capitale Tunis **(figures 1 et 2).** La région de Mornag s'étend sur une superficie de 13500 ha environ dont 35% sont représentés par des terres cultivées en olivier. La plupart des cultures sont irriguées en période estivale par les eaux de la Medjerda ou des puits de surface.

Figure 1. Localisation du Gouvernorat de Ben Arous: Nord – Est de la Tunisie

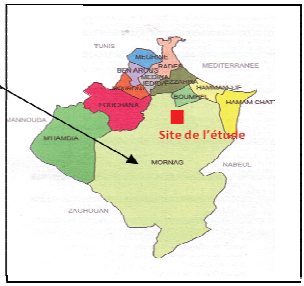


Figure 2. Carte des limites administratives de la zone d'étude et site expérimental.

2. Climat

La région de Mornag appartient à l'étage climatique semi-aride supérieur avec 450 mm de pluie en moyenne et 1200 mm d'évapotranspiration de référence **(Tableau 1).**

Tableau 1. Données climatiques moyennes (1979 – 2003, INM).

Paramètre	Valeur
Pluviométrie (mm)	450
ETo (mm)	1200
Température maximale/minimale (°C)	24,2* / 13,9
Humidité relative (%)	30 - 60
Vitesse du vent (m/s)	1,4 – 2,0
Rayonnement global (cal/cm^2/j)	180-650

Source INM. *Valeurs calculées sur la période 1979-2003.

Le climat est de type Méditerranéen avec un été long et chaud, un hiver court, doux et assez venté, un automne doux et un printemps précoce et doux. Les gelées hivernales apparaissent de temps à autre mais elles sont de courte durée. Au printemps elles sont rares. Le vent du Nord-Ouest est dominant. Il atteint des vitesses variant de 1 à 2 m/s entre mai et Décembre. Les valeurs maximales sont enregistrées entre Janvier et Avril. L'humidité relative moyenne varie de 30 à 60%**.**

3. Topographie

Le relief de la région de Mornag est peu accidenté, homogène et quasiment plat. La plaine est encadrée par une chaîne de montagnes, à l'Est par Djebel Boukornine et au Sud-est par Djebel Rasas. Du côté NE elle est ouverte sur la mer. Le sol de Mornag est

profond, peu évolué et d'apport alluvial. Selon le triangle des textures (Tiercelin, 1998), il est limono-argilo-sableux, d'une composition moyenne de 30% d'argile, 17% de limon, 37% de sable fin et 16% de sable grossier. Il est caractérisé par une couleur brune en surface qui s'éclairci en profondeur du fait de son enrichissement en limon. Son pH est alcalin, de l'ordre de 7-8. Du point de vue minéralogique, le sol de Mornag est constitué en moyenne de 20 à 30% de matière organique, de 20 à 30‰ d'azote total et de 4‰ de potassium. Ces caractéristiques confèrent à la région une vocation oléicole.

4. Ressources hydriques

La région de Mornag est un périmètre irrigué à partir d'eaux de forages et des eaux de la Medjerda, qui disposent d'un débit de l'ordre de 10-15 litres/s. Le canal Medjerda/Cap-bon dispose d'une dotation de 2,18 m^3/s, prélevable au niveau du tronçon qui traverse la plaine de Mornag. On compte aujourd'hui plus de 2500 puits équipés de motopompes. La salinité moyenne de ces eaux varie de 1,95 à 2,15 g/l selon la saison et l'importance des précipitations. Cependant leur coupage avec celles des oueds Joumine et Séjnane réduit le niveau du résidu à 1g/litre. Sur la côte, la salinité augmente à 3,5 g/l en raison de l'infiltration de l'eau de la mer.

La nappe souterraine est constituée de deux entités partiellement superposées ayant un débit de $1m^3/s$ en régime permanent. La première constitue le plafond qui est localisé dans le synclinal oligocène et qui intéresse la plus grande partie de la plaine. La deuxième entité est représentée par un aquifère superficiel. L'alimentation de ces nappes est assurée à 80% par des infiltrations et à 20% par des apports latéraux. Ces nappes sont surexploitées. Leur potentiel de renouvellement est estimé à 30 10^6 m^3 alors que les prélèvements annuels sont de l'ordre de 36 10^6 m^3.

CHAPITRE II

L'OLIVERAIE

1. Situation

La parcelle d'olivier a été installée en Mars 1998 au domaine expérimental de l'INAT. Elle s'étend sur une superficie de 1,6 ha et est protégée du côté Nord par un brise vent de cyprès et longe la piste d'entrée et la route principale des côtés Est et Sud respectivement. Un domaine privé la limite du côté Ouest **(Figure 3, Photo 1).** Les travaux préliminaires d'installation ont démarré fin 1997.

2. Système d'irrigation et étalonnage des goutteurs

Le système goutte à goutte a été installé au cours de l'année 1999 avec l'appui du Projet Tuniso-Belge INAT / CGRE. Il est constitué à l'amont par une station de pompage équipée de filtres, de manomètres, d'un mélangeur d'engrais…etc. et à l'aval d'un système de conduites primaires (I) alimentant les différentes parcelles et d'un système secondaire (II) distribuant l'eau aux arbres. Le système (I) de la parcelle d'olivier est équipé de quatre vannes. Un bassin de 500 m^3 environ a été aménagé au voisinage de cette station. Au niveau de la parcelle, le système d'irrigation est constitué par 32 paires de rampes d'irrigation posées selon l'orientation NE/SO. Les paires de conduites sont distantes de 6m. Des goutteurs d'un débit nominal de 4 litres/heure ont été utilisés. Ils sont placés de manière à ce que chaque olivier dispose de quatre goutteurs, formant un carré de 1m de côté. Au cours de la période

1998-2001, la parcelle a été irriguée au moyen de citerne et de conduites démontables. Le système goutte à goutte n'a été mis en marche qu'en 2002. La conductivité électrique de l'eau d'irrigation en provenance du canal de la Medjerda a été déterminée au cours de l'année 2003 à la sortie de l'hiver et au mois de juillet. Les résultats ont donné respectivement des valeurs du résidu sec de 2,0 g/litre et de 2,7 g/litre.

3. Choix du matériel végétal et des variétés

Des boutures semi-ligneuses ont été utilisées pour cette expérimentation. Les variétés d'olivier Chétoui, Meski, Manzanille et Picholine ont été choisies en raison de leur importance économique et leurs différences variétales (Trigui et Msallem, 2002). Ces variétés présentent un port différent : érigé chez le cultivar Chétoui, bas chez la variété Manzanille, ouvert chez le cultivar Picholine et compact chez la Meski. Elles se différencient également par les caractéristiques des feuilles (taille et couleur) et leur potentiel de production.

Les cultivars Meski (olive de conserve) et Chétoui (olive à double fins) constituent le fond des plantations du Nord du pays et sont généralement associés aux variétés Picholine française (olive à double fins) et Manzanille (olive de table). Ce mélange variétal favorise le brassage pollinique et améliore la pollinisation. La variété Meski est auto-incompatible et nécessite un pollinisateur. Elle produit un fruit d'excellente qualité. Les olives Meski, Manzanille et Picholine sont de gros calibre avec un poids moyen d'environ 5 g. Les olives Chétoui pèsent en moyenne 2,5 g.

4. Dispositif expérimental

Les boutures semi ligneuses d'olivier ont été plantées à la densité de 278 pieds/ha avec un écartement de 6mx6m. Ils sont disposés en quatre blocs de 112 arbres chacun et répartis en unités parcellaires de 4x7 (28) plants. Chaque unité représente une des quatre variétés de manière à ce que les quatre variétés soient représentées dans chaque bloc avec le même nombre de pieds, constituant ainsi quatre répétitions.

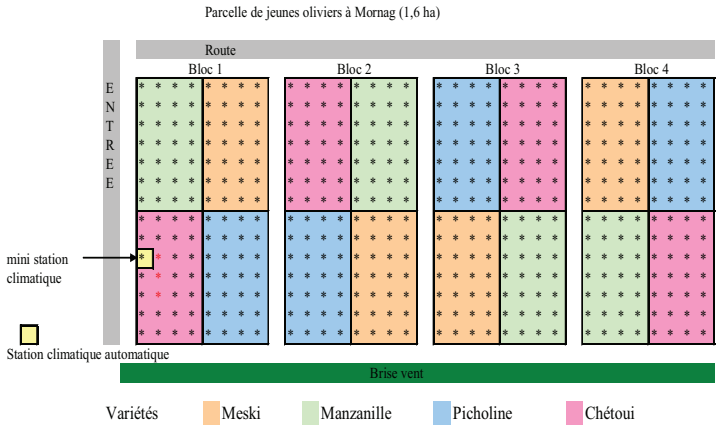


Figure 3 : Dispositif expérimental. Chaque bloc est constitué de 4 unités parcellaires représentant chacune une variété.

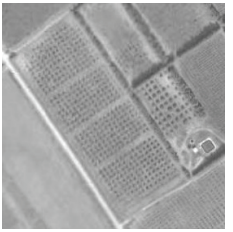


Photo 1: Vue satellitaire de la parcelle. Google earth

CHAPITRE III

PARAMETRISATION ET SUIVIS

1. Données climatiques

La pluviométrie, la température maximale et minimale, l'humidité relative maximale et minimale, la vitesse du vent et le rayonnement global sont mesurés quotidiennement au niveau d'une station météorologique automatique installée au sein du domaine expérimental et simultanément au niveau d'une mini - station météorologique implantée au cœur des oliviers **(Photo 2).**

Photo 2. Mini station météorologique installée au niveau de la parcelle d'olivier comprenant un pluviomètre, un anémomètre, un pyranomètre et une sonde de mesure de l'humidité et de la température de l'air, placée dans l'abri. Les données sont enregistrées au niveau d'une centrale d'acquisition des données (data logger) qui est alimentée par une batterie de 12V. Celle-ci est rechargée au moyen d'un panneau solaire placé au dessus de l'abri météorologique.

Au niveau de la mini station, le pluviomètre (à augets), l'anémomètre (à cellule optique) et le pyranomètre ont été placés à deux m de hauteur et connectés à une centrale d'acquisition des données (data logger) qui donne une mesure de la pluie, du vent et du rayonnement global toutes les 5 mn. Une valeur horaire puis journalière est calculée. La température de l'air et son humidité relative sont mesurées au moyen d'une sonde de type PT100/HR placée dans un abri météorologique et alimentée par une tension de 12 V. Le data logger est vidangé tous les 20 jours en été et tous les 10 jours en hiver. Cette cadence est liée à celle qui est adoptée pour la vidange des données de flux de la sève (enregistrées au niveau de la même centrale) et à l'état de la batterie qui alimente ce data logger.

A défaut de mesures obtenues au niveau du site expérimental, les données météorologiques enregistrées à l'INAT au niveau de la station automatique ont été utilisées. Les recoupements que nous avons réalisés à partir des trois stations nous ont permis de disposer d'une série de données journalières complète pour les sept paramètres suivis. Cette série a été utilisée pour calculer l'évapotranspiration de référence journalière de la zone d'étude (ET_o) selon la formule de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

2. Caractérisation du sol de la parcelle

2.1. Détermination des propriétés physiques

L'analyse physico-chimique du sol a été effectuée avant la mise en place de l'olivette sur des échantillons de sols prélevés à la tarière jusqu'à la profondeur d'un mètre avec un pas de 20 cm selon la méthode décrite par Cottenie et al., (1983).

Les humidités du sol à la capacité au champ (θ_{cc}) et au point de flétrissement permanent (θ_{pfp}) ont été déterminées au laboratoire

d'Irrigation de l'INRGREF au moyen de la plaque à pression à 0,5 et 15 bars respectivement. Les échantillons de sols ont été prélevés à la tarière à 20, 40, 60, 80 et 100 cm de profondeur et pris dans le premier et le dernier bloc de la parcelle à raison de quatre profils par bloc.

La densité apparente est déterminée sur des échantillons de sol prélevés à l'aide d'anneaux inoxydables de volume intérieur (V) de 100 cm^3, à partir de trois fossés de $1m^3$ creusés dans les différents blocs de la parcelle. Ils sont pesés frais et après séchage à l'étuve à 105°C. La densité apparente ($D_{a,}$ g cm^{-3}) est exprimée par le rapport du poids sec m_s (g) par le volume du cylindre **(Equation 1).**

$$D_a = m_s / V \qquad [1]$$

2.2. Analyses minérales

Les analyses minérales du sol de Mornag ont été effectuées au laboratoire « Sol » de l'Institut de l'Olivier sur des échantillons prélevés à la tarière tous les 20 cm de profondeur. Ces prélèvements ont été effectués la première fois en novembre 1997 avant l'épandage des engrais phospho – potassiques et la plantation des boutures sur une profondeur de 80 cm et une seconde fois en 2003 après six années de culture jusqu'à la profondeur de 100 cm. L'azote a été analysé par la méthode 'Kjeldah', le phosphore par la méthode 'd'Olsen' alors que les teneurs en sodium et en potassium ont été obtenues après lecture des absorbances au photomètre à flamme (Cottenie et al., 1983).

3. Matériel végétal

3.1. Paramètres de croissance

3.1.1. Partie aérienne

La hauteur de l'olivier, la longueur de la pousse terminale de l'arbre et le diamètre du tronc ont été mesurés le même jour à différentes dates durant six années consécutives afin de pouvoir caractériser et comparer leur dynamique de croissance. La hauteur de l'olivier a été mesurée au moyen d'une règle en bois graduée depuis la surface du sol jusqu'à la pointe de l'arbre en considérant la première charpente comme étant l'axe principal de l'arbre. L'allongement de l'année de la pousse de cet axe est mesuré en même temps que la hauteur.

Pour ce qui est du diamètre du tronc et compte tenu de sa forme, devenue irrégulière à partir de la troisième année de suivi, nous avons considéré la valeur maximale de ce diamètre qui est prise à 20 cm au dessus du niveau du sol. La circonférence maximale de la frondaison est mesurée deux fois par an, au mois de février et au mois de septembre. Au cours des années de taille, la mesure de février est effectuée avant et après la coupe afin d'estimer la variation du volume de l'arbre.

Les mesures de la croissance en hauteur, de la pousse terminale, de la circonférence de la frondaison et du diamètre du tronc ont été effectuées sur trois arbres par variété et par bloc, c'est-à-dire 12 arbres par variété avec 4 répétitions. Ces oliviers ont été choisis au niveau de la partie centrale de chaque unité parcellaire et en dehors des lignes de bordure.

Au cours de la campagne 2003 des mesures complémentaires de croissance des rameaux ont été réalisées sur trois oliviers Chétoui pris dans le bloc 1, à raison de 4 rameaux fructifères par

orientation et mesurant une vingtaine de cm. Ces rameaux sont âgés d'un an. La longueur, le diamètre basal et le nombre de feuilles de chaque rameau ont été régulièrement paramétrés.

La surface foliaire a été déterminée en mai 2003 selon la technique décrite par Fernandez et Moreno (1999). Le nombre de feuilles a été compté après avoir divisé l'arbre en trois unités représentatives. Etant donné la lourdeur de la manipulation nous nous sommes limités à un arbre de vigueur moyenne pour chaque variété (total de quatre arbres). La surface unitaire moyenne de la feuille a été ensuite estimée au planimètre sur un échantillon frais après étalonnage de l'appareil. La surface totale a été calculée en multipliant le nombre total de feuilles par la surface unitaire déterminée pour chaque variété.

3.1.2. Système radiculaire

Profils radiculaires :

Le système radiculaire a été étudié sur des arbres âgés de 1 à 6 ans selon la méthode de la tranchée (Fernandez et Moreno, 1999) à partir de profils pédologiques creusés à 40 cm du tronc (orientation Nord-Ouest) sur une profondeur allant de 1,0 à 1,2 m selon l'âge. Une représentation schématique de la distribution des racines émergentes du côté Est de la tranchée a été réalisée pour chaque arbre en indiquant pour chaque tranche de sol le nombre de racines observé et le diamètre moyen de ces racines.

Densités radiculaires :

Les densités radiculaires ont été déterminées sur les mêmes arbres en vue de comparer les résultats **(figure 4).** La méthode

utilisée est celle de Tennant (1975). Les échantillons de sol ont été prélevés le même jour (le même état hydrique) au cours de l'hiver 2002-2003 (période de quiescence) au moyen d'une tarière de volume connu sur un profil de 120 cm de profondeur avec un pas de 20 cm. Les prélèvements ont été réalisés à 40, 80 et 120 cm du tronc du côté opposé à la tranchée selon deux orientations : l'Est et le Sud. Les échantillons de terre sont ensuite placés par série dans de l'eau distillée jusqu'à dissolution des mottes. La suspension obtenue au bout de 48 à 72 heures est tamisée à 2 mm. Les racines sont récupérées une à une avec une pince avec beaucoup de difficultées en raison du colmatage de la terre. Elles sont placées dans un bocal rempli d'eau distillée colorée à la fuschine basique au moment du comptage, puis dispersées au hasard dans un plateau en verre peu profond. Le comptage des racines est effectué au moyen d'une grille quadrillée de 1cm^2 de surface unitaire selon la méthode des intersections (Tennant, 1975). La densité radiculaire est calculée en utilisant **l'équation 4**. La figure suivante décrit le dispositif expérimental adopté pour l'étude du système radiculaire.

3.2. Floraison

Le suivi de la floraison a été entrepris à partir de l'année 2000 sur quatre rameaux par arbre pour chaque variété. Annuellement, dès la fin du mois de mars six boutons floraux par rameau sont répertoriés et suivis jusqu'à l'ouverture des fleurs en vue de déterminer la date de démarrage de la floraison, sa durée et la date de la pleine floraison.

3.3. Développement de l'olive

La dynamique de croissance de l'olive a été suivie durant quatre campagnes de 2000 à 2003. Le diamètre équatorial de l'olive a été mesuré tous les dix jours au pied à coulisse électronique (précision 1/100) sur cinq fruits par arbre à raison de trois arbres par variété et par bloc (60 fruits par variété). Les mesures démarrent chaque année au moment de la nouaison (chute des pétales) et jusqu'à la récolte. A partir de ces mesures les courbes de croissance ont été tracées et les différents stades de croissance déterminés.

3.4. Production et pomologie de l'olive

Les paramètres de production suivis concernent la précocité d'entrée en production des variétés étudiées, la production de biomasse (bois de taille) au cours des années de taille, le rendement en olives et la pomologie du fruit (poids moyen de l'olive, diamètre de suture et longueur). Au cours de l'année 2003 et en raison des conditions climatiques exceptionnelles qui ont sévi au cours de l'automne et du début de l'hiver, nous avons suivi l'évolution du taux d'huile chez les quatre variétés étudiées d'octobre à décembre.

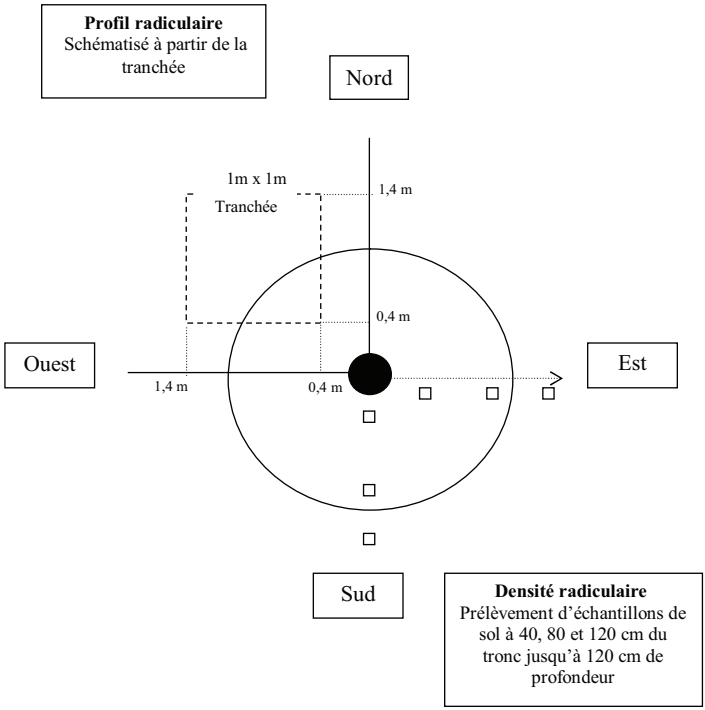
4. Analyse des résultats

Le suivi de la croissance de jeunes oliviers pendant six années consécutives a été entrepris dans le but de caractériser, quantifier et modéliser le développement de l'arbre en rapport avec son alimentation en eau.

Pour analyser les données saisies sur la parcelle nous avons procédé dans une première étape à l'analyse des résultats à l'échelle des 6 années de suivis puis à l'échelle du cycle annuel. A

chaque date de mesures, la moyenne des observations est calculée ainsi que la valeur de l'écart-type. Une courbe de croissance moyenne est tracée pour chaque paramètre mesuré, par variété et pour l'ensemble des variétés (moyenne de toutes les observations). Elle exprime soit l'accroissement annuel en fonction des années (hauteur de l'arbre, pousse terminale, diamètre du tronc et circonférence de la frondaison) soit la vitesse de croissance en fonction des jours. Pour le diamètre du rameau, la longueur du rameau et le nombre de ses feuilles, une courbe de croissance moyenne est tracée pour chacun des trois arbres paramétrés et pour l'ensemble des observations effectuées pour chaque paramètre. La croissance diamétrale du fruit est exprimée en fonction du temps par année et par variété en considérant la mesure du diamètre ou la vitesse de croissance. Tous ces graphiques ont été ensuite analysés et comparés afin de faire ressortir un modèle global quantitatif de croissance. Les variations intra annuelles, interannuelles et inter variétales ont été investiguées.

L'étude du système radiculaire a été réalisée sur des arbres âgés de un à six ans en adoptant deux approches : l'examen de profils radiculaires et la détermination des densités radiculaires. Les observations faites au niveau des six profils ont été schématisées en faisant apparaître la distribution des racines par horizon selon leur taille et leur nombre. Les densités radiculaires déterminées à différentes profondeurs et distances du tronc ont été représentées sous forme d'histogrammes. Les résultats obtenus à partir des deux approches ont été analysés puis comparés.



□ : Emplacement des prélèvements pour déterminer la densité radiculaire.

Figure 4. Dispositif pour l'analyse des profils radiculaires (orientations Nord et Ouest) et emplacement des prélèvements du sol à la tarière pour la détermination de la densité radiculaire (orientations Sud et Est). Les échantillons de sol sont prélevés à 40, 80 et 120 cm du tronc tous les 20 cm jusqu'à la profondeur 120 cm.

C - RESULTATS

CHAPITRE I

CONDITIONS DE L'EXPERIMENTATION

1. Analyse des données climatiques

La période d'étude a été caractérisée par des conditions climatiques variables avec quatre années de sécheresse (1999-2002) et une année pluvieuse (2003) pendant lesquelles les températures extrêmes absolues ont été de 1°C pour le minimum (1998) et 47°C pour le maximum (1999) alors que les températures moyennes maximales et minimales ont varié de 23,7 à 25,8°C et de 13,3 à 15,8°C respectivement **(Tableau 1**). Ces moyennes ont dépassé les valeurs moyennes enregistrées au cours de la période 1979-2003 qui sont estimées à 24,2°C et 13,9°C respectivement. Les valeurs les plus élevées ont été observées au cours de l'année 2001, caractérisée par une augmentation importante de la température pendant le premier trimestre de l'année, durant duquel nous avons totalisé 300 degrés - jours de plus par rapport à l'année 1998 (2658 degrés jour).

Tableau 1. Données climatiques enregistrées durant la période 1998-2003.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Pluviométrie annuelle (mm)	376	440	410	327	345	790
Pluie efficace annuelle (mm)	260	304	283	226	238	546
T_{max} absolue (°C)	**47**	41	44	42	43	46
T_{min} absolue (°C)	3	**1**	4	3	3	3
Moyenne des T_{max} (°C)	25,0	23,7	25,2	25,8	25,6	24,9
Moyenne des T_{min}. (°C)	13,3	15,0	14,8	15,8	15,5	14,9
Evapotranspiration annuelle (mm)	1313	1320	1293	1282	1231	1212

Sources : CRGR-INAT, INM, Pluviomètre de la Station de Mornag.

NB. La pluie efficace est déterminée à partir de la méthode USDA-SCS (F.A.O., 1976) au moyen d'abaques qui tiennent compte de l'évapotranspiration mensuelle de la culture et de la pluie totale enregistrée quotidiennement.

La variation relative de la température durant la période de l'essai, comparée à celle de la période 1979-2003 a oscillé en moyenne entre -2% et 7% pour les maxima et entre -4% et 14% pour les minima **(figure 1)** avec une augmentation importante en 2001 et en 2002 particulièrement au niveau des minima atteignant 14 et 12% respectivement. En 1998 nous avons enregistré une baisse de 4% au niveau des minima et une hausse de 3% au niveau des maxima. La hausse des températures a été observée

particulièrement entre juin et fin août totalisant 221°C de plus par rapport à l'année 1999 pour la même période. Au cours de l'année 1999 la température moyenne des maxima a diminué de 2% alors que la valeur moyenne des minima a augmenté de 8%. L'année 2003 a été caractérisée par un été chaud au cours duquel nous avons compté 27 jours de sirocco avec une température variant de 36 à 46 °C et des augmentations relatives de Tmin et de Tmax de 7% et 3% respectivement.

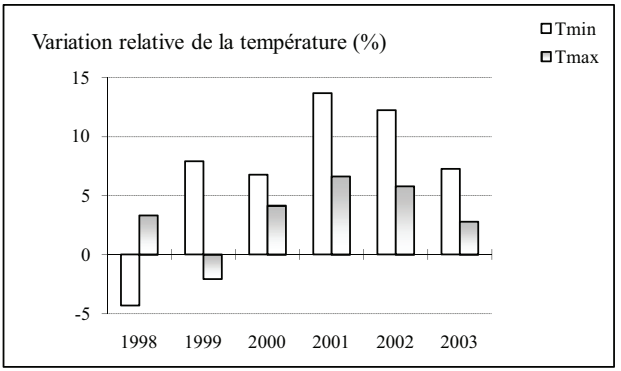


Figure 1. Variation relative de la température moyenne maximale et minimale (%) durant la période 1998-2003 comparée aux valeurs moyennes enregistrées entre 1979 et 2003.

La répartition mensuelle des pluies au cours des six années de l'étude **(figure 2)** a révélé une variation inter et intra annuelle importante. Durant la période 1998-2002 les précipitations annuelles ont été inférieures à la moyenne de la région avec des valeurs maximales enregistrées entre septembre et novembre, excepté l'année 2000 au cours de laquelle nous avons reçu 127 mm de pluie au mois de juin. Les mois de juillet et d'août sont les moins arrosés à l'exception de 1999 et 2002 où le minimum a été enregistré en septembre et en février respectivement. L'année 2003

a été caractérisée par une pluviométrie élevée qui a atteint durant le premier trimestre 263 mm, réalisant pour la même période une augmentation relative moyenne de 50 et 40% respectivement par rapport aux deux années précédentes. Après un été sec, des pluies torrentielles (214,9 mm) ont été enregistrées au mois de septembre, représentant 27% de la pluie annuelle (790 mm). Celle-ci a dépassé la moyenne de la région (450 mm). En raison de leur caractère torrentiel, l'eau a stagné sous les oliviers pendant plus de trois semaines.

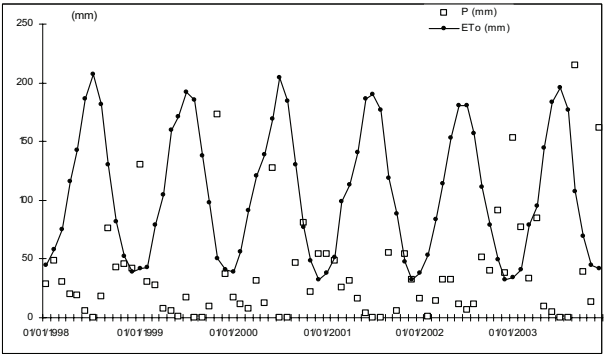


Figure 2. Pluviométrie (mm) et répartition mensuelle de l'évapotranspiration (mm) à Mornag durant la période 1998-2003.

L'évapotranspiration de référence (ET_o) a été calculée par la formule de Penman-Monteith (F.A.O., 1998). Elle montre une variation interannuelle relativement importante entre les années engendrant un déficit climatique moyen (ET_o - Pluie) variant de 955 mm (2001) à 422 mm (2003). La demande évaporatoire mensuelle maximale, de l'ordre de 200 mm a été observée au cours du mois de juillet alors que la demande minimale a été observée en Décembre - Janvier avec une moyenne comprise entre 34 et 41 mm selon l'année.

2. Analyses du sol

2.1. Détermination des propriétés physiques

2.1.1. Granulométrie

Le sol est hétérogène de nature limono-argilo-sableuse constitué en moyenne de 49% de limon, 29% d'argile et 23% de sable avec un enrichissement en sable en profondeur **(Tableau 2**). En raison de sa forte teneur en argile, les fentes de retrait atteignent plus de 5 cm de largeur en période estivale.

Tableau 2. Composition granulométrique moyenne du sol (%) de la parcelle d'olivier en fonction de la profondeur.

Horizon (cm)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	Moy.	Ecart-type
Argile %	39	34	28	22	20	29	7,1
Limon %	50	52	48	48	46	49	2,0
Sable %	11	14	24	32	34	23	9,3

Seuil de signification de 5%.

2.1.2. Humidités à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent et densité apparente

Les humidités volumiques du sol, déterminées à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent à 20, 40, 60, 80 et 100 cm, ont révélé un sol à grande capacité de rétention de l'eau. Son humidité volumique à la capacité au champ (θ_{cc}) est en moyenne de 50% **(Tableau 3)** et de 26% au point de flétrissement permanent (θ_{pfp}). La valeur moyenne de la densité apparente (D_a)

est égale à 1,61 g cm^{-3}, mais elle varie en fonction de l'horizon de 1,55 à 1,68 g cm^{-3} **(Tableau 3).**

Tableau 3. Densité apparente (D_a, g/cm^3), humidité à la capacité au champ (θcc, %) et au point de flétrissement permanent (θpfp, %) du sol de la parcelle d'olivier en fonction de la profondeur.

Horizon (cm)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	Moy.	Ecart-type
D_a	1,55	1,64	1,60	1,60	1,68	1,61	0,04
θcc	48	50	50	51	50	50	0,98
θpfp	25	26	27	26	25	26	0,75

La densité apparente augmente en profondeur en raison de l'enrichissement du sol en sable dont la proportion passe de 11 à 34% en allant de l'horizon de surface à la profondeur d'un mètre.

2.2. Statut minéral du sol nu et cultivé

Les résultats des analyses minérales effectuées au moment de l'installation de la parcelle et après six années de culture ont montré une faible variation des teneurs en azote (N), en phosphore (P) et en potassium (K) au cours des six années de suivi **(Tableau 4).** Les teneurs en sodium ont par contre diminué significativement.

Les valeurs initiales ont été en moyenne de 0,67‰ pour N, 0,055‰ pour P, 0,32‰ pour K et 1,13‰ pour Na, avec des valeurs de plus en plus faibles à mesure que la profondeur du sol augmente, excepté pour le sodium dont les teneurs sont plus faibles en surface.

Les valeurs obtenues après six années de culture ont été en moyenne de 0,86‰, 0,055‰, 0,36‰ et 0,84‰ pour l'azote, le phosphore, le potassium et le sodium respectivement avec un graduent de haut vers le bas pour les éléments N, P et K assurant

une augmentation relative moyenne de 28%, 1% et 11% pour ces éléments respectivement par rapport à au statut initial. Les teneurs en sodium ont au contraire diminué mais en conservant toutefois un graduent de bas en haut entre les profondeurs 40 et 100 cm.

Tableau 4. Teneurs du sol en azote, phosphore, potassium et en sodium (‰) en fonction de la profondeur avant la mise en place de la culture (1998) et après six années de culture (2003).

Prof. (cm)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	Moy.	Ecart-type
Sol initial avant culture et fertilisation de fond							
N	0,92	0,78	0,49	0,47	-	0,67	0,19
P	0,072	0,051	0,049	0,048	-	0,055	0,010
K	0,45	0,33	0,23	0,27	-	0,32	0,83
Na	0,63	1,21	1,20	1,46	-	1,13	0,30
Sol après 6 ans de culture (2003)							
N	1,00	0,84	0,84	0,76	0,84	0,86	0,08
P	0,054	0,063	0,053	0,054	0,053	0,055	0,004
K	0,45	0,43	0,33	0,28	0,29	0,36	0,71
Na	0,65	0,93	1,06	0,83	0,72	0,84	0,15

Les teneurs en éléments minéraux ont peu varié durant les six années d'expérimentation malgré l'application des fertilisants et les prélèvements successifs effectués chaque année par le bois de taille et les productions d'olives. Les teneurs en sodium ont par contre diminué au niveau des horizons profonds de plus de 40 cm. A la sixième année de culture la teneur moyenne en sodium a été plus faible de 26%. Cette réduction a touché surtout les horizons profonds. Elle serait due à un lessivage du sol suite aux précipitations enregistrées au cours de l'automne 2003. Les prélèvements de terre ont été effectués en effet au cours du mois

d'octobre 2003, environ un mois après les pluies abondantes de septembre.

3. Mise en place de l'olivette et conduite de la culture

Les travaux d'installation ont démarré au cours de l'automne 1997 par un labour superficiel de nettoyage et l'épandage intégral des engrais phospho - potassiques à raison de 200 kg / ha de Sulfate de potasse et 200 kg / ha de Super phosphate 45% (Institut de l'Olivier 1994 ; Masmoudi-Charfi, 2006 ; Masmoudi-Charfi et al., 2006). Un labour profond à la charrue à socs a permis leur enfouissement à une profondeur de 40 cm. Au moment de la plantation chaque plant a reçu 20 kg de fumier de bovin mûr. L'ammonitrate a été apporté annuellement en deux fractions **(Tableau 5),** les 2/3 en février-mars et le 1/3 en octobre.

Tableau 5. Quantité d'ammonitrate à 33% N apportée par olivier (g/an).

	1998	1998/ 1999	1999/ 2000	2000/ 2001	2001/ 2002	2002/ 2003
Quantité	50	100	170	300	450	550

Les labours d'entretien, au nombre de trois par an, ont été effectués au cover crop à la fin de l'hiver, au courant de l'été et à l'entrée de l'automne. Ils ont été associés à des binages manuels entrepris autour des troncs.

Durant les deux premières années de culture un élagage de la base du tronc a été effectué sur une hauteur de 25 cm afin de permettre le développement d'un tronc rectiligne et sans ramifications. La taille de formation, pratiquée au mois de février, a été effectuée durant trois années consécutives à partir de l'année

2000. Les oliviers ont été formés sur un tronc unique et taillés en gobelet avec trois ou quatre charpentes. Pour le besoin de l'expérimentation, l'axe central ou principal qui constitue la première charpente de l'arbre n'a pas été coupé durant les six premières années de culture. Les ramifications de la frondaison ont été éclaircies ou pincées selon leur destinée.

Des insecticides systémiques ont été utilisés au besoin et à titre curatif uniquement contre la Psylle et la mouche de l'olivier au printemps et en automne respectivement. Un traitement fongique utilisant un produit à base de cuivre a été appliqué en 2002 et en 2003 contre l'œil de paon qui a occasionné une chute importante des feuilles.

4. Pratique de l'irrigation

4.1. Besoins en eau de la culture

Les besoins en eau de la culture de l'olivier (ET_c) ont été déterminés selon la méthode de la FAO (Allen et al., 1998) en utilisant l'équation $ET_c = ET_o * K_c * K_r$, définie pour les conditions non standard (Masmoudi-Charfi et al., 2004). Le choix de la valeur de K_r repose sur le pourcentage de sol couvert par la biomasse végétale. Celui-ci est déterminé à partir de la surface projetée de la frondaison, déterminée par la mesure de sa circonférence et ramenée à la surface utile d'un olivier (36 m^2 dans notre cas). Les valeurs de K_r que nous avons adoptées sont de 0,7 de la première à la $5^{ième}$ année en raison d'une couverture du sol inférieure à 30% et de 0,75 pour la $6^{ième}$ année puisque le taux de couverture de sol a dépassé ce pourcentage. Les valeurs de l'ET_o ont été calculées à partir de la formule de Penman-Monteith (1998) en utilisant les paramètres climatiques de l'année. Les valeurs de K_c ont été

choisies en rapport avec l'âge. Le **tableau 6** présente les valeurs de l'ET_c considérées au cours des six années de suivi.

Tableau 6. Valeurs de l'ET_c (mm) calculées à l'échelle de l'année et au cours de la période d'irrigation, de Mars à Septembre.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003
ET_o (mm/an)	1313	1320	1293	1282	1231	1212
ET_o mars-sept. (mm)	1037	1050	1041	1024	979	982
K_c	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5
Couverture du sol (%)	0,6	2	5	10	22	31
K_r	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,75
$ETc = ET_o$ x K_c x K_r (mm/an)	276	277	361	359	344	454
$ETc_{mars-sept}$= $ET_{o\ mars-sept}$ xK_cxK_r (mm)	243	241	291	287	273	368

Les besoins en eau de la culture de l'olivier ont varié de 276 à 454 mm à l'échelle annuelle et de 243 à 368 mm durant la période allant de Mars à Septembre. L'augmentation de ces besoins résulte de l'augmentation du volume de la frondaison et de l'âge. La surface moyenne du sol couverte par la végétation est en effet passée de 0,6% en 1998 à 31% en 2003 ce qui nous a conduit à choisir des valeurs de K_r de 0,70 pour les cinq premières années et de 0,75 pour la sixième année où le pourcentage de couverture du sol a dépassé 25%. Quant à la valeur de K_c, celle-ci a été de 0,3 pour les deux premières années d'âge, de 0,4 de la troisième à la cinquième année et de 0,5 pour la sixième année.

Ces quantités d'eau sont très importantes et ne peuvent être appliquées surtout pendant les 4 premières années d'âge. En effet l'olivier est caractérisé à ce stade par un développement aérien et radiculaire faibles engendrant un taux de couverture du sol réduit. Compte tenu de ce fait nous proposons une méthode d'irrigation qui tient compte du développement de l'arbre et en considérant des qauntités d'eau plus faibles.

4.2. Apports hydriques : Méthode expérimentale proposée

Compte tenue des conditions climatiques de la région d'étude, nous avons pratiqué annuellement une irrigation complémentaire sur une période de six mois. Elle est délenchée au printemps plus ou moins précocément selon les conditions de l'année et l'état hydrique du sol et se poursuit jusqu'à l'arrivée des premières pluies importantes (> 10 mm) de l'automne. Au cours des deux premières années de culture, l'irrigation a été pratiquée au moyen de cuvettes confectionnées à l'aplomb de la frondaison. Durant la troisième et la quatrième année, l'eau a été distribuée dans des rigoles sillonnées au tracteur à un mètre du tronc. L'irrigation localisée a démarré en 2002 **(Photo 1)**. A l'amont du système d'irrigation, un compteur d'eau est monté dans chaque bloc afin de quantifier les quantités réellement délivrées. Au cours de l'année 2003 un étalonnage des goutteurs a été réalisé. Le débit de 160 goutteurs répartis sur 40 arbres a été mesuré. Le test d'uniformité appliqué sur les débits mesurés a donné une valeur moyenne de 4,9 litres / heure avec un taux d'homogénéité de 82%.

Au cours de la première année de culture des apports réduits mais fréquents d'eau (7 irrigations) ont été pratiqués afin de favoriser une bonne reprise des boutures après leur mise en place en verger. Le nombre d'irrigation a été ensuite réduit à quatre afin de pouvoir étendre les résultats de cette expérimentation à d'autres

techniques d'irrigation en utilisant la capacité du réservoir sol à subvenir aux besoins de la plante. Avec un système goutte à goutte qui délivre 16 litres / heure / arbre, l'irrigation a duré une semaine à dix jours successifs selon la période d'apport alors que l'intervalle maximal entre deux irrigations a varié de 20 à 50 jours en fonction des conditions climatiques et des évènements pluvieux. Au cours de l'année 2000 nous avons reçu au mois de juin 127 mm de pluie ce qui nous a permis de retarder l'irrigation suivante en considérant un intervalle maximal de 50 jours.

L'irrigation a été pratiquée en visant les stades phénologiques importants de croissance végétative rapide et de développement de l'olive qui ont lieu de fin mars à la mi-octobre **(Tableau 7).** Le premier tour d'eau a été apporté entre début mars et début avril excepté les années 1999 et 2003 qui ont été caractérisées par un début d'année pluvieux, ce qui a permis de retarder l'irrigation jusqu'au mois de mai. Les quantités de pluie tombées entre début janvier et fin mars ont été respectivement de 189 mm et de 263 mm. En 2002, la première irrigation a eu lieu au mois de mars compte tenu du déficit pluviométrique enregistré au cours de l'hiver. Les quantités de pluie tombées entre septembre 2001 et février 2002 n'ont été que de 170 mm. Pour la même période, les quantités de pluie tombées en 2003 ont atteint 450 mm. Les irrigations suivantes ont été appliquées durant les deux dernières semaines du mois de mai après la chute des pétales de façon à couvrir le premier stade de grossissement des olives et le processus de durcissement des noyaux.

Tableau 7. Dates des irrigations pratiquées au cours de la période 1998-2003.

1998	1999	2000	2001	2002	2003
2/3-10/3				11/3-14/3	
28/3-4/4		27/3-30/3	2/4-5/4		
21/4- 30/4	3/5-11/5				
18/5- 28/5		16/5-25/5	14/5-25/5		15/5-20/5
20/6-1/7	18/6-29/6			4/7-12/7	2/6-3/6
					30/6- 2/7
21/7- 30/7		17/7-30/7	8/7-19/7		10/7-15/7
					21/7-30/7
20/8- 25/8	10/8-19/8			12/8-20/8	5/8-9/8
	28/9-7/10	12/9-22/9	1/9-13/9	11/9-24/9	28/8-5/9

Durant les mois de Juillet et d'Août le nombre d'irrigation a varié de 1 à 3 selon la fréquence et l'importance des évènements pluvieux et la disponibilité de l'eau. Les quantités de pluie tombées entre Juin et Août ont varié de 4 (2001 et 2003) à 127 mm (2000). En 2003, malgré un printemps pluvieux (127 mm entre mars et mai), l'arrivée précoce des chaleurs estivales et leur persistance jusqu'en automne nous ont amené à programmer l'irrigation tous les 10 jours entre fin Juin et fin Août. La dernière irrigation a été apportée entre fin Août et mi-Septembre selon l'année. En 1999 l'irrigation a été pratiquée jusqu'à début Octobre afin de compenser le déficit estival et automnal. Les premières pluies importantes n'ont été enregistrées qu'au mois de Novembre 1999 (173 mm).

Les quantités annuelles d'eau apportées par l'irrigation et par olivier (I, litre/an/arbre) ont varié de 720 à 5449 litres en fonction de l'année. Les valeurs sont rapportées dans le **Tableau 8.**

Tableau 8. Quantités d'eau apportées par l'irrigation au cours des six années de l'essai (1998-2003) et intervalle maximal entre deux irrigations.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Irrigation (litre/olivier/an)	840	720	880	1760	4980	5449
Intervalle maximal entre 2 irrigations (jours)	20	40	50	40	40	30

Ces quantités ont été apportées dans des cuvettes de $1m^2$ au cours des deux premières années de culture, au moyen de rigoles au cours des deux années suivantes humectant une surface d'environ $4m^2$ par olivier et au moyen du goutte à goutte durant les années 2002 et 2003 avec une surface humectée de $6m^2$.

Ces quantités sont faibles par rapport aux valeurs de l'ET_c-FAO. Elles ont été décidées compte tenu du développement de l'arbre et de l'état hydrique du sol et de la plante. Dans le chapitre suivant, nous examinerons l'impact de cette méthode expérimentale sur la croissance et le développement de l'arbre.

CHAPITRE II

ANALYSE QUANTITATIVE

1. Développement de la partie aérienne

1.1. Hauteur et allongement de la pousse terminale

La croissance en hauteur de l'axe principal de l'olivier et de la pousse terminale ont évolué durant la période 1998-2003 en suivant l'allure d'une courbe en S avec une croissance lente pendant les deux premières années de culture, accélérée au cours des deux années suivantes puis décélérée de nouveau au cours des deux dernières années de mesures. La **figure 3** montre l'évolution de la hauteur de l'olivier durant la période 1998-2003.

Partant d'une hauteur moyenne de 46 cm au moment de la plantation, la hauteur de l'olivier a augmenté plus ou moins rapidement selon l'année pour atteindre une hauteur moyenne de 490 cm au terme de la sixième année de mesures.

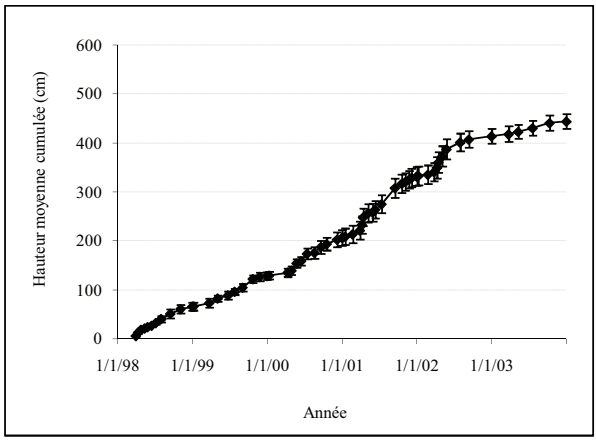


Figure 3. Evolution de la hauteur moyenne de l'olivier (cm) au cours des six premières années de l'expérimentation. Les barres verticales représentent l'écart par rapport à la moyenne calcuée pour chaque date de mesures à partir de trois observations par variété et par bloc (48 arbres). Seuil de signification de 5%.

A l'échelle de l'année, la croissance en hauteur exprimée en terme d'allongement annuel et déterminée par la différence de mesures entre le 1^{ier} janvier et le 31 décembre de chaque année, a varié de 30 à 126 cm durant la période 1998-2003 avec un minimum observé en 2003 et un maximum mesuré en 2001 **(figure 4).** La représentation graphique de cet accroissement en fonction des années est illustrée par **le modèle graphique** suivant.

L'allongement minimal de la pousse terminale, de 18 cm, a été mesuré en 1999, montrant une réduction de 33% par rapport à l'année 1998. L'élongation maximale, de 45 cm, a été enregistrée en 2001 **(figure 5).** En 2002 l' allongement de la pousse terminale a été de 19 cm seulement.

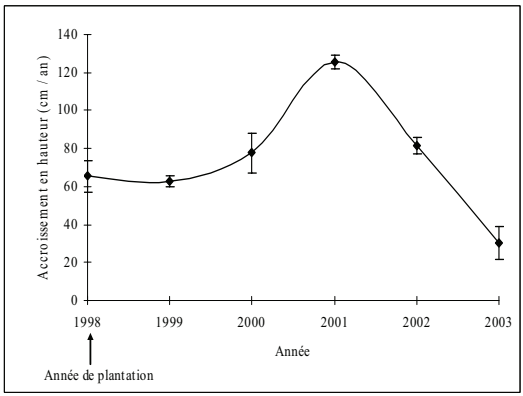


Figure 4. Accroissement annuel moyen en hauteur (cm) de l'olivier durant la période 1998-2003. Chaque point représente la moyenne de 48 mesures (trois mesures par variété et par bloc). Les barres verticales représentent les écarts par rapport à la moyenne des observations. Seuil de signification de 5%.

Outre les variations interannuelles, des différences variétales ont été observées aussi bien pour l'accroissement en hauteur (1998 et 2000) que pour la pousse terminale (1999 et 2000). Les écarts les plus importants ont été notés au cours de l'année 2000 durant laquelle nous avons pratiqué la première taille de formation. Ces écarts sont illustrés par la **figure 5.**

Au cours de l'année 1998, un écart de croissance a été observé entre les variétés Chétoui - Manzanille et Picholine - Meski qui se traduit par un accroissement en hauteur plus faible chez ces deux derniers cultivars**.** Durant l'année 2000, première année de taille de formation, le comportement des variétés Picholine et Manzanille a été inversé par rapport à celui que nous avons observé durant l'année de plantation. La variété Manzanille a donné l'accroissement le plus faible. Il est égal à celui du cultivar Meski

dont l'allongement a été maintenu aux plus faibles valeurs depuis sa plantation. La variété Picholine a présenté un allongement intermédiaire. En 2001 et en 2002 l'écart entre les variétés s'est estompé pour les deux paramètres mesurés. En 2003, les variétés Chétoui et Meski ont donné les accroissements les plus importants pour la hauteur et la pousse terminale**.**

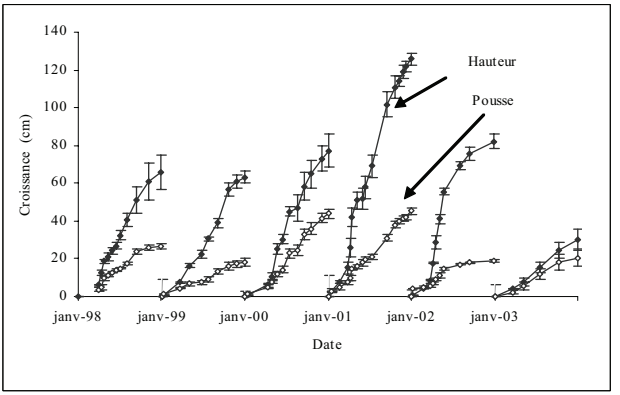


Figure 5. Evolution de la croissance en hauteur de l'olivier (cm) et de la pousse terminale (cm) durant la période 1998-2003. Chaque point représente la moyenne de 48 observations. Les barres représentent l'écart par rapport à la moyenne (Seuil de signification à 5%). La figure montre la variation inter et intra annuelle de l'accroissement de ces deux paramètres.

1.2. Développement de la frondaison

1.2.1. Croissance diamétrale

La circonférence maximale de la frondaison a été mesurée au mois de septembre et au mois de février. Au cours des années de taille, cette dernière mesure a été effectuée avant et après la coupe

dans le but d'estimer les changements de volume de l'arbre qui sont observés au cours de l'année et en particulier en période de taille. Le diamètre de la frondaison est déterminé à partir des mesures de la circonférence en assimilant la projection de la limite de la canopée à un cercle. L'accroissement annuel en diamètre a été déterminé entre le 1^{ier} janvier et le 31 décembre de chaque année.

Le diamètre de la frondaison a évolué au cours des six premières années en suivant l'allure d'une courbe en S **(figure 6)** avec une première phase ralentie d'une durée de deux ans et une seconde phase accélérée qui semble se poursuivre jusqu'à la cinquième année de culture au cours de laquelle nous avons atteint une croissance maximale. Le ralentissement de la croissance observé en 2003 marquerait le début de la troisième phase de croissance de la canopée.

Partant d'un diamètre moyen de 0,42 m au moment de la plantation **(figure 6),** la frondaison s'est développée de manière plus ou moins importante selon l'année pour atteindre la valeur de 4,05 m au terme de la sixième année de mesures. L'écart observé entre les deux mesures réalisées au mois de février résulte de l'effet de la taille. Il est d'autant plus important que la coupe a été sévère.

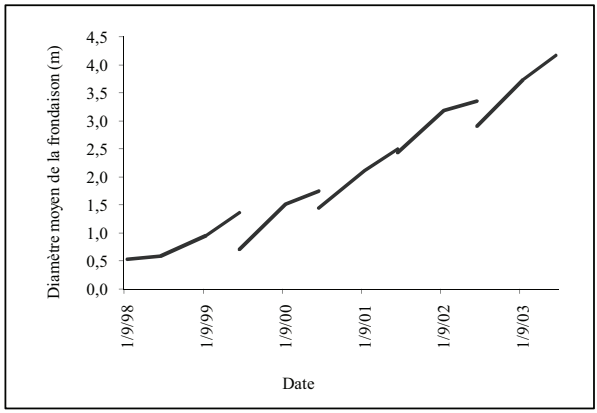


Figure 6. Evolution du diamètre moyen de la frondaison (m) durant les six premières années de culture. Chaque point représente la moyenne de 48 observations. Les mesures sont effectuées en février avant et après la taille et au mois de septembre. Les écarts entre les mesures (2000, 2001 et 2003) sont relatifs à la taille. Ils sont d'autant plus importants que la coupe a été sévère.
NB. La représentation des mesures en escalier n'a pas permis de représenter l'écart-type.

Des différences ont été observées entre les variétés. Elles se sont traduites par un niveau de croissance plus ou moins élevé, atteignant des valeurs maximales chez la variété Picholine **(figure 7).**

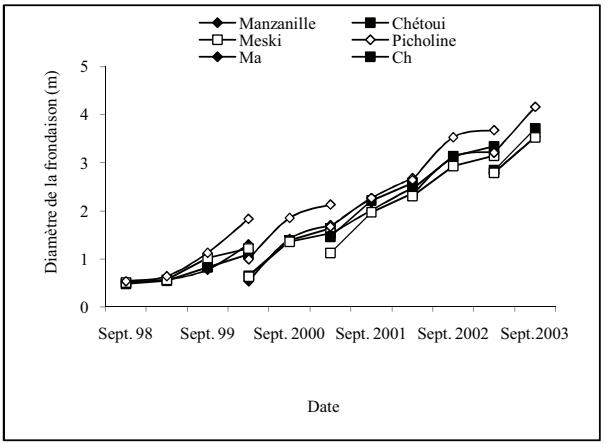


Figure 7. Evolution du diamètre de la frondaison (D_f, m) en fonction du temps chez les variétés Chétoui, Meski, Manzanille et Picholine durant les six premières années de culture (1998-2003). Chaque point représente la moyenne de douze observations (trois mesures par variété et par bloc).

En termes d'accroissement annuel, le diamètre de la canopée a évolué entre un minimum de 0,15 m/an observé en 1998 et un maximum de 0,89 m/an enregistré en 2002 (**figure 8).**

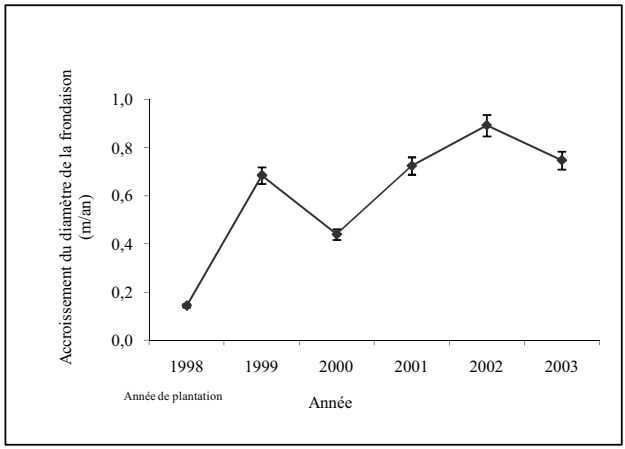


Figure 8. Accroissement annuel moyen du diamètre de la frondaison (m) calculé entre le 1^{ier} janvier et le 31 décembre. Les barres verticales représentent l'écart par rapport à la moyenne qui est déterminée à partir de 48 observations pour chaque date de mesures. Seuil de signification de 5%.

Au niveau des variétés, le développement de la canopée présente des variations importantes **(figure 9)** et s'écarte du modèle graphique moyen de la **figure 8** et en particulier pour le cultivar Picholine.

L'accroissement du diamètre de la frondaison a augmenté régulièrement chez la variété Chétoui jusqu'à la quatrième année de mesures puis il a diminué légèrement pour se maintenir à une vitesse de l'ordre de 0,8 m/an pendant les deux dernières années de l'étude. Cette évolution diffère de celle des variétés Manzanille, Picholine et Meski qui ont présenté une cinétique de croissance fluctuante caractérisée par une baisse des accroissements après la première intervention de taille mais également en 2003 chez les cultivars Picholine et Manzanille. Les accroissements les plus

importants ont été observés chez la variété Picholine en 1999 et en 2002 atteignant des valeurs respectives de 1,02 et 1,07 m/an.

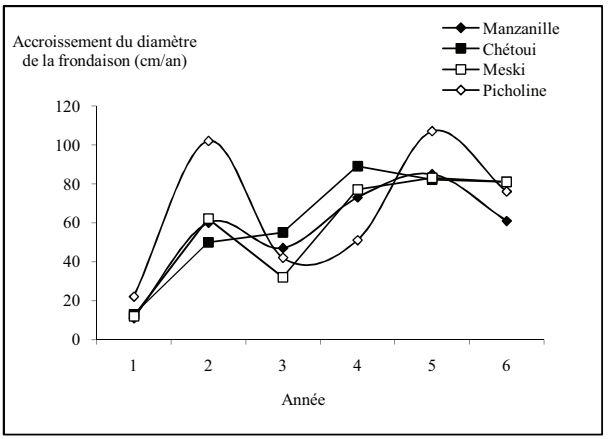


Figure 9. Accroissement annuel du diamètre de la frondaison (m) observé chez les variétés Chétoui, Meski, Manzanille et Picholine durant les six premières années de l'étude. Chaque point représente la moyenne de douze observations.

Le modèle de croissance de la canopée présenté dans la **figure 6** diffère de celui de la hauteur et de la pousse terminale**).** Son minimum a été observé pendant l'année de plantation (1998) alors que son maximum a été atteint une année après le pic de croissance en hauteur. Mais en dépit de ces variations, le diamètre de la frondaison (D_f, cm) a augmenté proportionnellement à la hauteur de l'arbre (H, cm). Ces deux paramètres sont liés par une relation linéaire et positive **(figure 10)** exprimée par **l'équation 2** avec un coefficient de corrélation de 0,96 et représentée par :

$$D_f = 0{,}837\ H - 12{,}284 \qquad r = 0{,}96 \qquad [2]$$

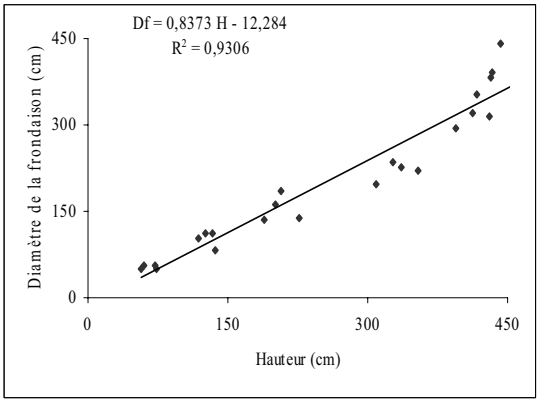


Figure 10. Relation entre la hauteur de l'olivier (H, cm) et le diamètre de la frondaison (D_f, cm). Valeurs observées le 31 décembre de chaque année durant la période 1998-2003.

1.2.2. Production de biomasse

La quantité de bois de taille produite a été pesée annuellement pour chaque variété. Au moment de la taille, la circonférence de la frondaison a été mesurée avant et après la coupe en vue d'apprécier les changements de volume induits par la taille. Ces changements se sont traduits au niveau du modèle de croissance en diamètre de la frondaison **(figure 10)** par une baisse de 35% en moyenne de l'accroissement au cours de l'année 2000 au début de laquelle nous avons pratiqué la première taille de formation. Les coupes sévères réalisées en 2000 en vue de former des arbres avec un tronc unique et une canopée en forme de gobelet ont conduit à une réduction de la taille de l'arbre de 48% en moyenne. Durant les trois années suivantes, des coupes par éclaircie légère ont été pratiquées avec des taux de réduction moyens de 18%, 3% et 13% respectivement, supprimant 1,6, 4,9 et

7,7 kg de bois sec en moyenne. La quantité totale de bois produite durant la période 2000-2003 a été de 18 kg par olivier en moyenne avec des écarts importants entre les variétés **(Tableau 9).**

Tableau 9. Poids sec moyen du bois de taille éliminé (Kg/arbre) au cours de la période 2000-2003 et réduction conséquente de la taille de la frondaison (%) après la coupe chez les variétés Chétoui, Meski, Manzanille et Picholine.

Bois de taille sec (kg/arbe)	2000	2001	2002	2003	Moy.	Ecart-type
Manzanille	1,9	1,1	3,7	6,0	3,2	1,9
Chétoui	2,6	1,6	5,5	6,4	4,0	2,0
Meski	2,6	1,7	5,6	9,6	4,9	3,1
Picholine	3,6	1,9	4,7	8,7	4,7	2,5
Valeur moyenne	2,7	1,6	4,9	7,7	4,2	2,7
Taux de Réduction de la taille de la frondaison						
Manzanille	59	11	5	13	22	22
Chétoui	41	11	5	15	18	14
Meski	48	26	2	11	22	17
Picholine	46	22	1	13	21	17
Valeur moyenne	48	18	3	13	20,5	19,4

Cependant, l'élimination d'une quantité importante de bois de taille (poids élevé) n'implique pas nécessairement une coupe sévère. Au cours de l'année 2000, la quantité de bois retirée de la frondaison a été plus importante que celle que nous avons supprimée en 2001 (1,6 kg en moyenne). Ces deux quantités sont proportionnelles aux pourcentages de réduction de la taille de la frondaison, estimés en moyenne à 48% et 18% respectivement. En

2002 bien que la taille a été beaucoup moins sévère avec un pourcentage de réduction variant de 1 à 5%, la quantité de bois sec obtenue après la coupe a été plus élevée, en moyenne de 4,9 kg avec un maximum de 5,6 kg obtenu chez la variété Meski et un minimum de 3,7 kg pesé chez la variété Manzanille. En 2003 la coupe a été plus sévère qu'en 2002 avec un pourcentage de réduction de la frondaison de 13% en moyenne mais la quantité de bois a été beaucoup plus importante et plus riche en rameaux lignifiés particulièrement chez la variété Meski au niveau de laquelle nous avons retiré une quantité maximale de bois sec de 9,6 kg par arbre. Par conséquent le poids sec du bois de taille dépendrait plutôt du rapport rameaux lignifiés/nouvelles pousses.

1.2.3. Relations entre la production de biomasse, les paramètres physiques et le rendement

La quantité de bois de taille sec obtenue annuellement augmente proportionnellement au développement du diamètre de la frondaison. La **figure 11** montre que la quantité de bois de taille éliminée chez les quatre variétés au mois de février de l'année n est corrélée à l'accroissement du diamètre de la canopée réalisé au cours de l'année précédente avec un coefficient de corrélation r de 0,87.

La recherche de relation entre le développement de la frondaison et la production montre également que le rendement en olives de l'année n est positivement corrélé à l'accroissement du diamètre de la frondaison de l'année précédente avec un coefficient de corrélation de 0,45 comme le montre la **figure 12.** Cette relation montre que d'autres paramètres sont impliqués dans la détermination du rendement, notamment le potentiel variétal. En effet, si nous écartons la variété Meski qui a présenté des

rendements très faibles par rapport aux autres variétés en raison de son auto incompatibilité, le coefficient r passe de 0,45 à 0,61.

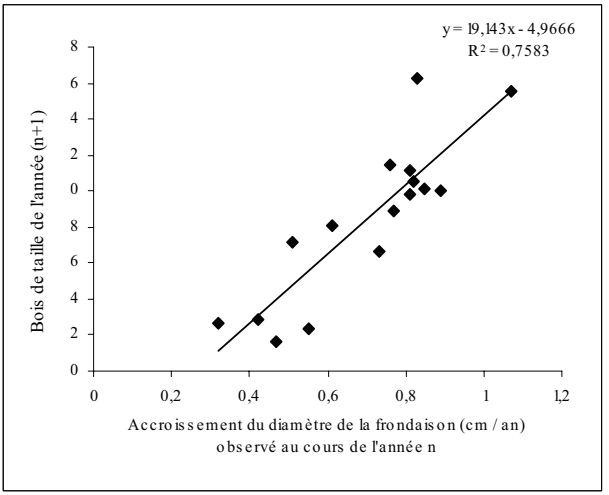


Figure 11. Relation entre l'accroissement moyen de la frondaison (m/an) observé au cours de l'année n (2000 à 2003) pour les quatre variétés et la quantité de bois de taille sec (kg/arbre) récupérée l'année suivante, n+1 (février 2001 à février 2004).

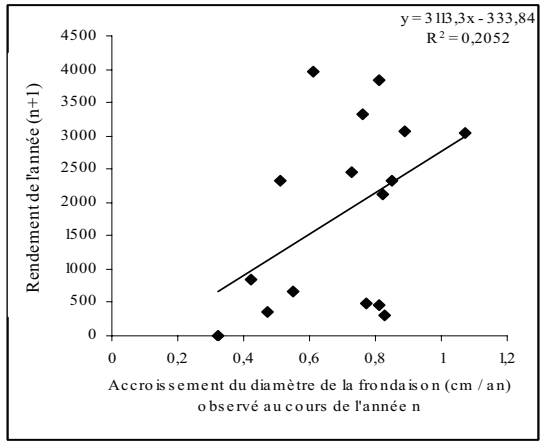


Figure 12. Relation entre l'accroissement annuel de la frondaison (m/an) observé au cours de l'année n (2000 à 2003) chez les quatre variétés et le rendement en olives obtenu au cours de l'année suivante, n+1 (octobre 2001 à octobre 2004).

La recherche de relations entre la quantité de biomasse produite et les facteurs de l'environnement montre que la quantité de bois de taille dépend aussi des conditions climatiques et particulièrement celles de la saison qui précède la coupe. En effet, bien que la taille a été pratiquée de manière comparable en 2001 et en 2003 avec des taux de réductions de 18 et 13% respectivement, des quantités de bois plus importantes ont été obtenues en 2003, avec un pourcentage d'humidité plus important atteignant en moyenne la valeur de 79% **(figure 13).**

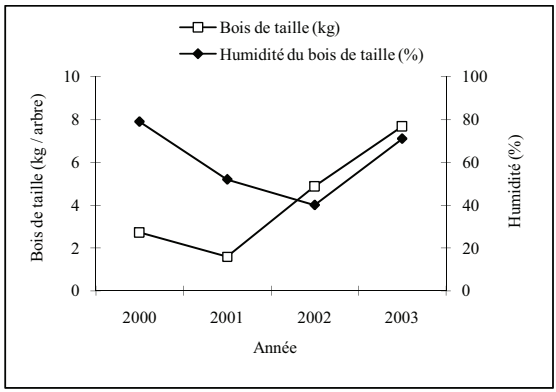


Figure 13. Quantité moyenne de biomasse produite résultant de la taille (kg/arbre) et humidité relative moyenne (%) correspondante.

L'humidité du bois de taille a varié de 34 à 86% en fonction de la variété et de l'année. Les valeurs annuelles moyennes ont varié de 40 à 79% avec des valeurs minimale et maximale observées respectivement en 2002 et en 2003 chez la variété Picholine **(figure 14).** Ces années représentent respectivement l'une des années les plus sèches et la plus humide.

L'humidité du bois de taille, déterminée au mois de février au moment de la coupe sur des échantillons frais, a varié en fonction de la quantité de pluie reçue au cours de la période juillet-décembre de l'année écoulée. Les valeurs les plus faibles enregistrées au cours de cette période ont été observées en 2001 et en 2002, caractérisées par de faibles précipitations, de l'ordre de 203 et de 147 mm respectivement. En 2003, l'humidité du bois de taille a été plus élevée ainsi que les quantités de pluie reçues au cours du second semestre de l'année (238 mm) **(figure 15).**

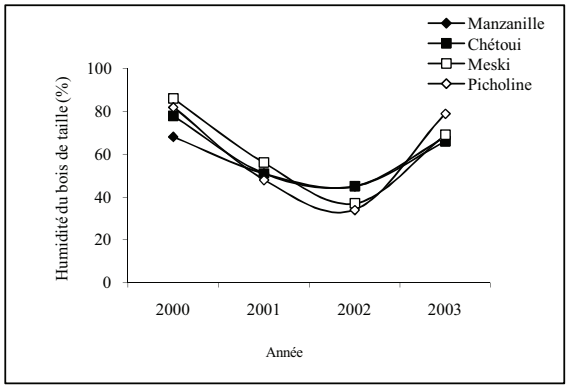


Figure 14. Humidité relative du bois de taille (%) chez les variétés Manzanille, Chétoui, Meski et Picholine au cours de la période 2000 - 2003.

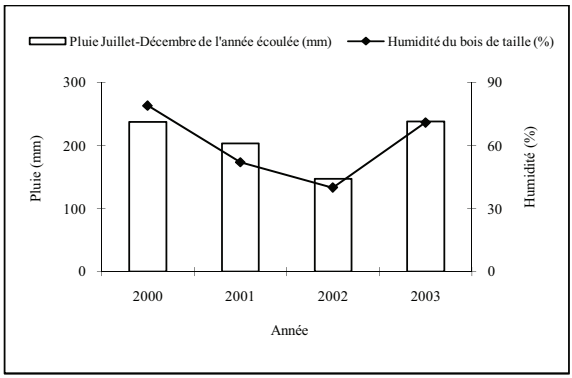


Figure 15. Humidité relative moyenne (%) du bois de taille observée au cours de la période 2000 – 2003 et quantités de pluies reçues durant la période juillet-décembre de l'année écoulée.

Par conséquent la quantité de bois récupérée au moment de la taille dépend de la sévérité de la coupe et des proportions bois

lignifié/pousse, de la variété et des précipitations reçues au cours de l'année précédente entre juillet et décembre. Elle est également liée au développement de la canopée réalisé au cours de l'année écoulée. Celui-ci est lié à la croissance en hauteur de l'arbre et affecte directement la production d'olives.

1.3. Croissance diamétrale du tronc

Le diamètre du tronc a été mesuré à une hauteur de 20 cm du sol le même jour que la hauteur et la pousse de l'axe principal. Durant les deux premières années de culture la croissance en largeur du tronc s'est faite uniformément mais à partir de la troisième année, la base du tronc a pris une forme irrégulière avec une écorce plus épaisse, rugueuse et de couleur grisâtre.

Partant d'un diamètre initial moyen de 6,3 mm en mars 1998, la base du tronc s'est élargie de 13,1 mm au cours de la première année de culture. A partir de la deuxième année, le tronc s'est développé avec une vitesse plus importante mais fluctuante d'une année à l'autre. Sur les six années de mesures, le diamètre du tronc a augmenté en moyenne de 24,5 mm atteignant un diamètre final de 157,9 mm en décembre 2003. Cette évolution semble suivre une courbe en S mais avec une deuxième phase moins marquée que celle qui a été observée au niveau de la hauteur ou de la frondaison **(figure 16).**

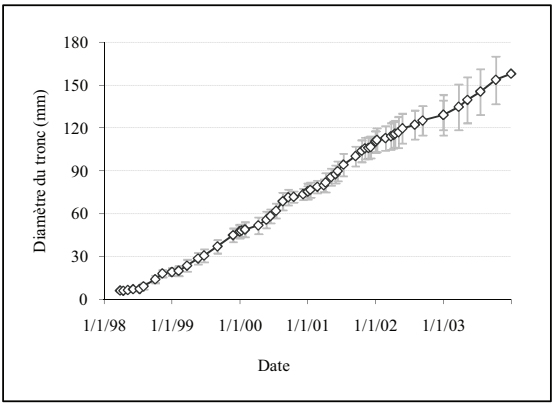


Figure 16. Evolution du diamètre moyen du tronc (mm) en fonction du temps durant les six premières années de culture (1998-2003). Chaque point représente la moyenne de 48 observations effectuées à raison de trois mesures par variété et par bloc. Les barres verticales représentent les écarts par rapport à la moyenne des observations. Seuil de signification de 5%.

Durant la période d'étude des écarts importants ont été observés entre les années avec un accroissement annuel moyen minimal de 13,1 mm observé en 1998 et maximal de 34,9 mm enregistré en 2001. Ces variations ont conduit à un modèle graphique de croissance apparenté au modèle de croissance en hauteur, mais différent de celui qui est obtenu pour la frondaison **(figure 17).** En outre une baisse importante de la vitesse a été observée en 2002.

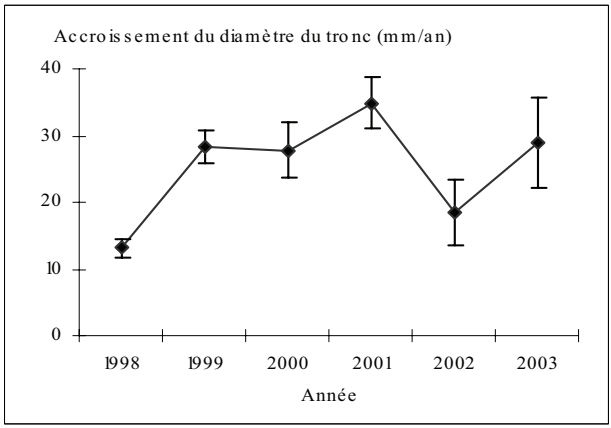


Figure 17. Accroissement annuel moyen du diamètre du tronc (mm) calculé entre le 1^{ier} janvier et le 31 décembre. Les barres verticales représentent l'écart par rapport à la moyenne qui est déterminée à partir de 48 observations pour chaque date de mesures. Seuil de signification de 5%.

Au cours de l'année 2002, le diamètre du tronc a augmenté en moyenne de 18,5 mm seulement, représentant 53% de la valeur observée en 2001. Cette réduction de la croissance du tronc coïncide avec une augmentation importante de l'accroissement du diamètre de la frondaison et une baisse simultanée de l'accroissement en hauteur. Pendant l'année 2003 l'accroissement du tronc a augmenté de 35% par rapport à l'année 2002 alors que les deux autres composantes de la croissance ont présenté un accroissement plus faible comparé à celui de l'année écoulée, ce qui met en exergue la présence d'une coordination entre les structures paramétrées.

Outre les différences interannuelles, la croissance en diamètre du tronc a présenté des écarts entre les variétés à partir de la troisième année de mesures, illustrés par la **figure 18**. Les variétés

Chétoui et Manzanille ont présenté des accroissements croissants jusqu'à l'année 2002 au cours de laquelle la vitesse de croissance a été réduite pour l'ensemble des cultivars. Les variétés Meski et Picholine ont présenté une dynamique de croissance fluctuante avec une baisse notable en 2000 et en 2002. Les vitesses maximales ont été observées pour tous les cultivars en 2001.

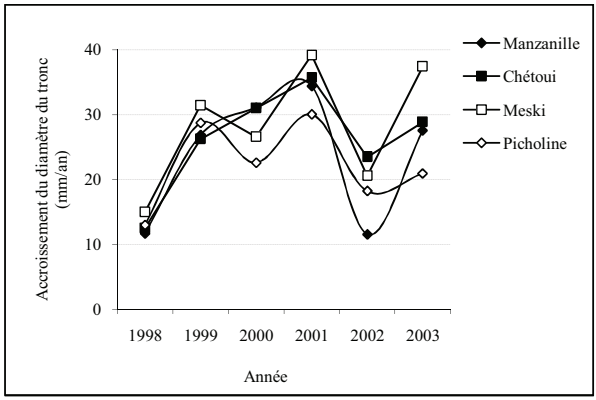
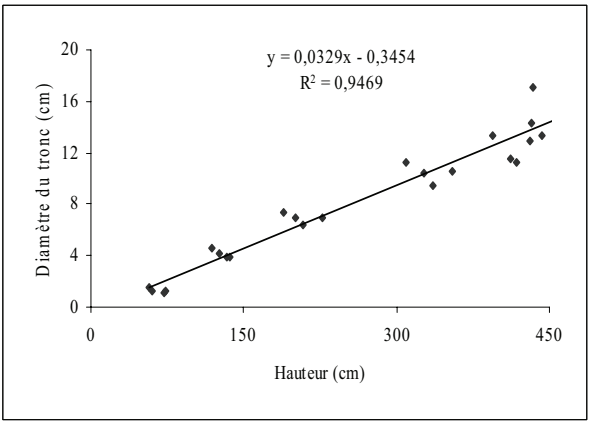


Figure 18. Accroissement annuel du diamètre du tronc (mm) observé chez les variétés Chétoui, Meski, Manzanille et Picholine durant les six premières années de culture. Chaque point représente la moyenne de douze observations.

En dépit des variations interannuelles et inter variétales observées au cours des six années de l'étude, le diamètre du tronc (D_t) a évolué proportionnellement à la hauteur de l'arbre (H) avec un coefficient r de 0,96 **(figure 19).** Cette relation est exprimée par **l'équation 3.**

$$D_t = 0{,}0329\ H - 0{,}34 \qquad r = 0{,}96 \qquad [3]$$



Figures 19. Relation entre le diamètre du tronc (D_t, cm) et la hauteur de l'olivier (H, m) observés le 31 décembre de chaque année durant la période 1998-2003.

Le diamètre du tronc D_t a augmenté proportionnellement au diamètre de la frondaison D_f auquel il est lié par une corrélation positive exprimée par **l'équation 4** et la **figure 20.**

$$D_t = 0{,}0369\ D_f + 0{,}631 \quad r = 0{,}94 \quad [4]$$

Cependant si on l'exprime en terme d'accroissement annuel, le diamètre du tronc mesuré chez les quatre variétés augmente en fonction de l'accroissement du diamètre de la frondaison jusqu'à une valeur moyenne optimale de la frondaison de 65 cm/an correspondant à un accroissement annuel moyen maximal du tronc (D_t) de 3,5 cm. Au delà de cet optimum, l'accroissement annuel de D_t diminue. La valeur maximale de l'accroissement du tronc est observée pour une valeur de l'accroissement de la frondaison de 77 cm/an **(figure 21)**.

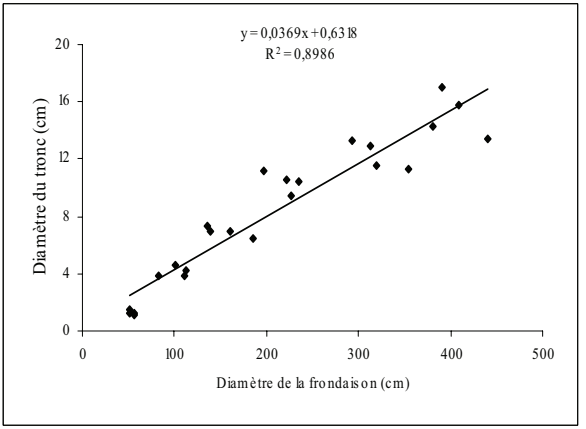


Figure 20. Relations entre le diamètre du tronc (D_t) et le diamètre de la frondaison (D_f) exprimés en termes de croissance (cm) durant la période 1998-2003.

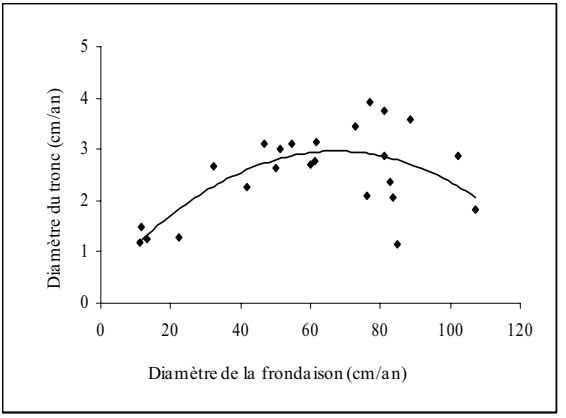


Figure 21. Relations entre le diamètre du tronc (D_t) et le diamètre de la frondaison (D_f) exprimés en termes d'accroissement annuel (cm/an) durant la période 1998-2003.

La matrice de corrélation déterminée pour les différents paramètres mesurés est donnée par la table suivante :

	ΔH	D_f	D_t	H
ΔH	1	-	-	-
D_f	-	1	0,94	0,96
D_t	-	0,94	1	0,96
H	-	0,98	0,96	1

Avec ΔH l'accroissement annuel en hauteur, D_f, D_t et H sont les mesures du diamètre de la frondaison, du tronc et de la hauteur de l'olivier à la date du 31 Décembre de chaque année.

1.4. Croissance des rameaux

La croissance des rameaux fructifères a été suivie durant la campagne 2003 sur l'olivier Chétoui, sur des pousses d'un an, choisies selon les 4 orientations sur trois pieds notés A_1, A_2 et A_3, pris de vigueur comparable et soumis aux mêmes conditions de culture. Les résultats ont montré des différences au niveau de la croissance des rameaux des trois oliviers bien qu'ils avaient au départ des mensurations comparables **(figure 22).** Ces différences apparaissent à partir de début Mai et sont maintenues jusqu'à la fin de l'automne. L'arbre A_2 a présenté la croissance en longueur la plus faible avec un nombre de feuilles plus élevé sur les pousses paramétrées par rapport aux arbres A_1 et A_3.

Le nombre de feuilles compté au niveau des pousses étiquetées a évolué en fonction de la saison. L'émission de nouvelles feuilles commence à partir du mois d'avril et se poursuit jusqu'au début de l'été **(figure 23).** A partir de Juillet, les feuilles âgées jaunissent et chutent. Le maximum de chute a été observé

durant les mois d'Août et de Septembre particulièrement sur les pieds A_1 et A_3.

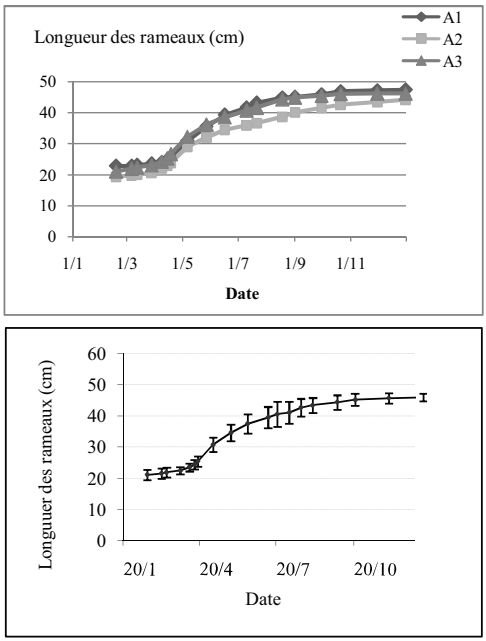


Figure 22. Evolution de la longueur du rameau (cm) chez les oliviers Chétoui A_1, A_2 et A_3 (a). Chaque point représente la moyenne de quatre rameaux par orientation totalisant seize mesures par arbre. La figure (a) présente la courbe moyenne de croissance des rameaux pour les trois oliviers. Les barres verticales représentent l'écart par rapport à la moyenne (figure b). Seuil de signification de 5%.

Partant d'un nombre de feuilles moyen de 28 pour les trois oliviers, l'arbre A_2 a conservé un maximum de feuillage contrairement aux pieds A_1 et A_3 qui ont montré une chute importante au cours des mois d'août et de septembre, réduisant le

nombre de feuilles de 37 en moyenne à 27. Au mois d'octobre de nouvelles feuilles ont apparu.

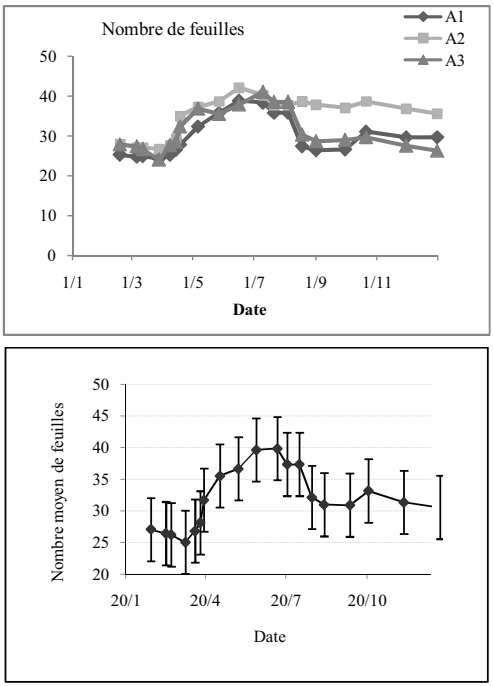


Figure 23. Evolution du nombre de feuilles sur les rameaux paramétrés chez les oliviers Chétoui A_1, A_2 et A_3 (a). Chaque point représente la moyenne de quatre observations par orientation totalisant seize mesures par arbre. La figure (b) représente la courbe moyenne d'évolution du nombre de feuilles pour les trois oliviers. Les barres verticales représentent l'écart par rapport à la moyenne. Seuil de signification de 5%.

Le diamètre du rameau pris au niveau de son point d'insertion a peu évolué au cours de l'année 2003. Les différences

ont été observées surtout au niveau de l'arbre A_1 qui a présenté des mensurations plus élevées à partir de la mi-juillet **(figure 24).**

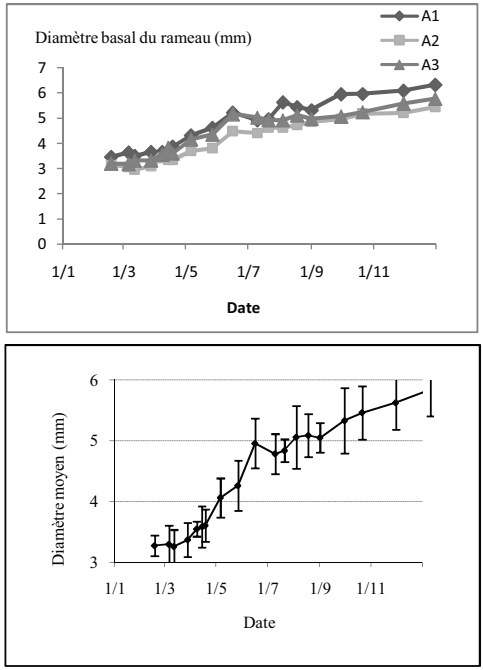


Figure 24. Croissance moyenne du diamètre basal du rameau (mm) chez les oliviers Chétoui A_1, A_2 et A_3 au cours de l'année 2003 (a). Chaque point représente la moyenne de quatre observations par orientation totalisant seize mesures par arbre. La figure (b) représente la croissance moyenne du diamètre du rameau pour les trois oliviers. Les barres verticales représentent l'écart par rapport à la moyenne. Seuil de signification de 5%.

1.5. Surface foliaire

Les caractéristiques des feuilles déterminées à la fin de l'année 2003 ont montré des différences entre les variétés Chétoui, Meski, Manzanille et Picholine. La surface foliaire de la canopée a été déterminée en mai 2003 sur un olivier de chaque variété à partir du nombre total de feuilles et des surfaces unitaires pour chaque variété. Les mesures ont montré des différences variétales, illustrées au **Tableau 10.**

Tableau 10. Caractéristiques des feuilles chez l'olivier Chétoui, Meski, Manzanille et Picholine observées à la sixième année de culture (2003). La surface foliaire (m^2) a été déterminée sur un arbre par variété.

	L (mm)	l (mm)	L/l	Couleur verte	Surface unitaire (cm^2)	Surface foliaire (m^2)*
Manzanille	58	14,5	4	Claire	248	12,7
Chétoui	55	9,0	6,1	Foncée	296	14,2
Meski	56	13,0	4,3	Foncée	321	14,1
Picholine	73	18,0	4,1	Clair	329	18,0
Moyenne	60,5	13,6	4,6		298,5	14,8
Ecart-type	8,4	3,7	1,0		36,5	2,3

* Surface foliaire de l'olivier.

La variété Picholine présente des feuilles de grande taille avec une surface foliaire unitaire moyenne de 329 cm^2. La variété Chétoui développe des feuilles étroites de 296 cm^2 en moyenne. La surface la plus faible est observée chez la variété Manzanille.

La détermination des surfaces foliaires des oliviers Chétoui, Manzanille, Meski et Picholine en mai 2003, a montré que l'olivier Picholine a la plus grande surface de la canopée, de 18 m^2.

L'olivier Chétoui présente une surface foliaire plus faible estimée à 12,7 m^2 alors que les pieds Manzanille et Meski ont la même surface, d'environ 14 m^2.

2. Développement de la partie radiculaire

2.1. Profil radiculaire

L'analyse de profils radiculaires d'oliviers âgés de 1 à 6 ans **(figures 25 a, b, c)** montre que 50 à 70% des racines se trouvent dans les 60 premiers centimètres **(Photo 1).** Le nombre de racines triple entre la première et cinquième année bien qu'il évolue peu entre la troisième et la quatrième année. A la sixième année de culture, un chevelu radiculaire dense apparaît dans la tranche de sol 40-60 cm. Au delà d'un mètre de profondeur le nombre de racines est réduit de moitié **(Tableau 11).**

Durant les deux premières années de culture les oliviers ont développé des racines de faible diamètre de 2 et 6 mm respectivement. A partir de la troisième année, des racines de 2 à 3 cm de diamètre ont apparu à plus de 40 cm de profondeur. Elles sont de couleur jaune, au nombre de 2 ou de 3 et sont d'autant plus tordues que l'olivier est âgé. Autour de ces racines se développe un chevelu qui se densifie avec l'âge et la profondeur du système radiculaire (jusqu'à 60 cm).

Les **figures 25 a,b,c** représentent les profils radiculaires établis pour des oliviers âgés de 1an à 6 ans. Ces schémas illustrent la répartition des racines de l'olivier du côté Est.

Tableau 11. Nombre maximum de racines émergeant du côté Est d'oliviers âgés de 1 à 6 ans au niveau des différents horizons jusqu'à la profondeur 120 cm.

Horizon (cm)	1	2	3	4	5	6
0-20	6	2	16	10	9	51
20-40	2	3	6	5	5	91
40-60	0	8	3	1	3	116
60-80	0	2	4	4	5	97
80-100	0	0	0	0	3	81
100-120	0	0	0	0	0	36
Nombre de racines	8	15	29	20	25	472
Diamètre maximal (mm)	2	6	23	32	24	27

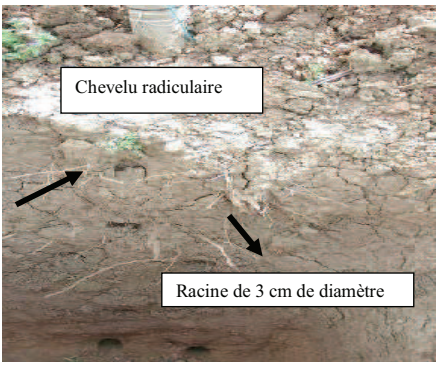


Photo 1. Développement en surface de racines de faible diamètre chez un olivier Chétoui âgé de cinq ans (chevelu radiculaire). Les racines de grand diamètre (> 2 cm) apparaissent à plus de 25 cm de profondeur.

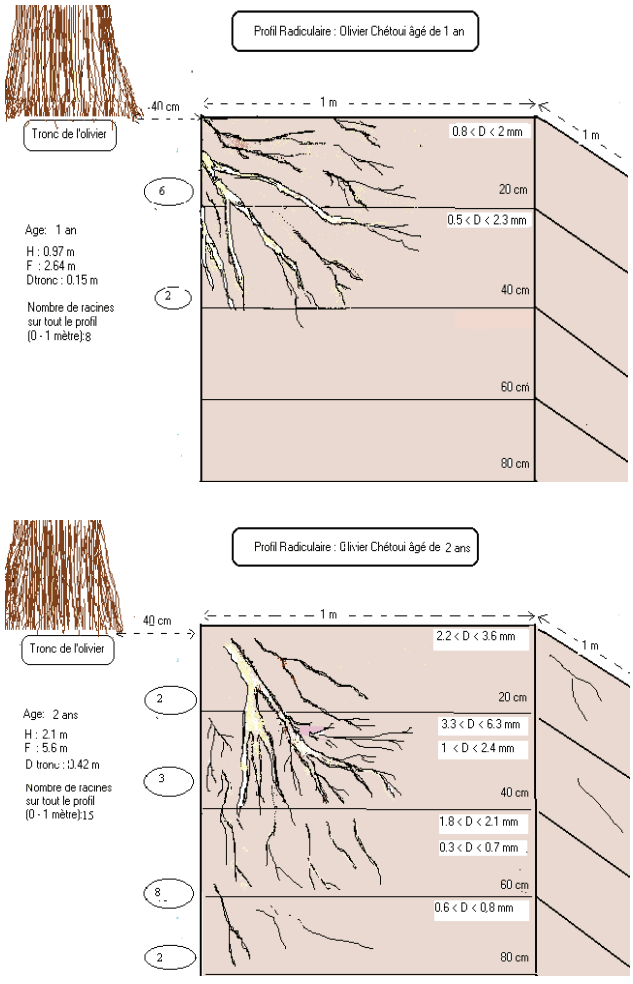


Figure 25 a : Profil radiculaire d'olivier âgé de 1an et de 2 ans (variété Chétoui).

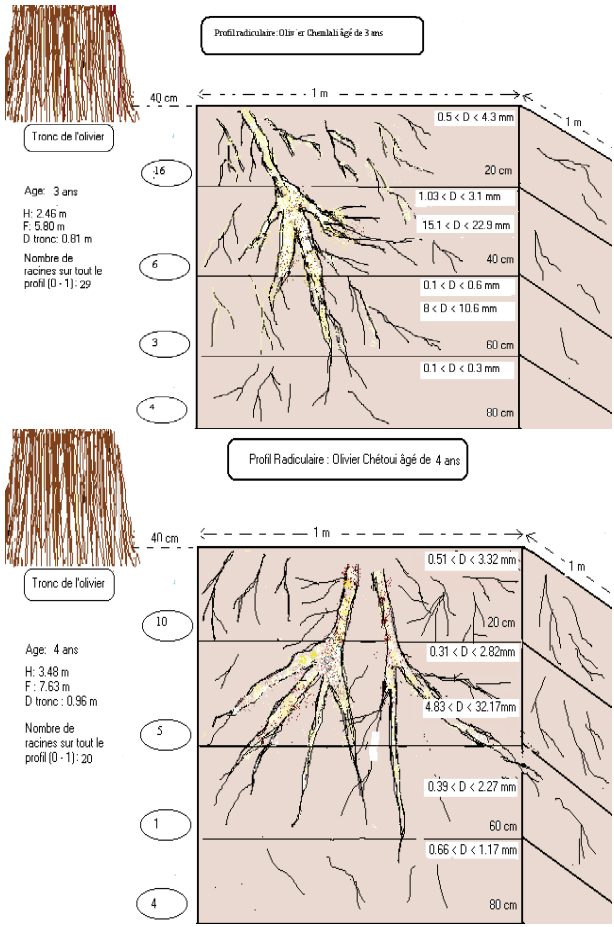


Figure 25 b : Profils radiculaires d'oliviers âgés de 3 ans (Chemlali) et de 4 ans (Chétoui). NB : A défaut d'olivier Chétoui de 3 ans nous avons pris un olivier Chemlali planté au niveau de la ligne de bordure.

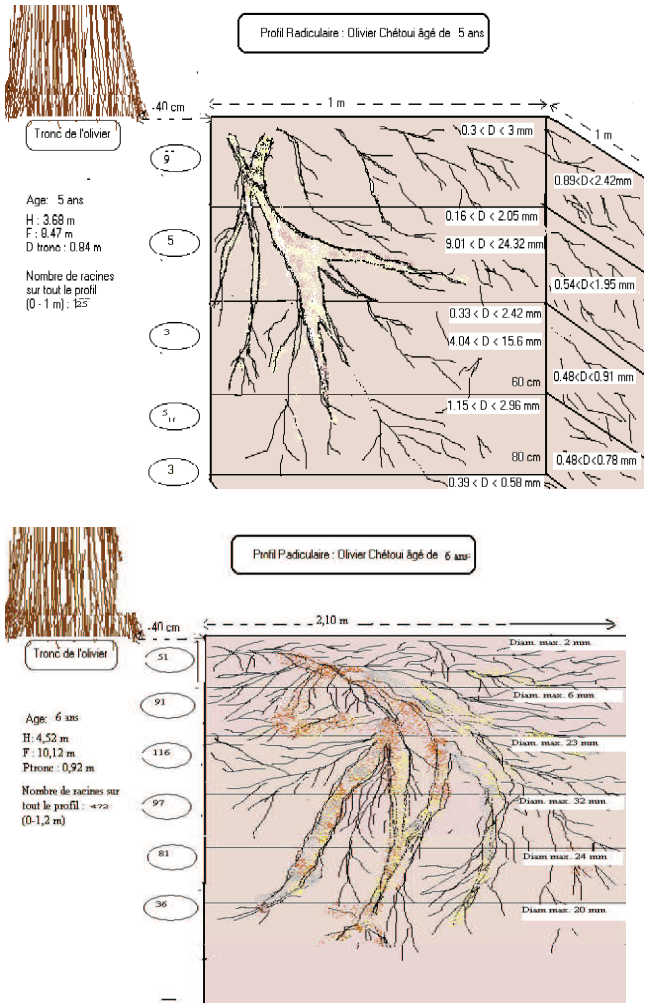


Figure 25 c : Profils radiculaires d'oliviers âgés de 5 ans (Picholine) et de 6 ans (Chétoui).

L'analyse des profils radiculaires établis pour les six oliviers montre que le volume du système radiculaire a augmenté pendant les cinq premières années de culture à raison de 1m^3/an **(figure 26).** Il a occupé au bout de cinq ans 5,3 m^3. Les racines les plus éloignées ont émergé à une distance variant de 110 à 150 cm du tronc et sont généralement observées au niveau de l'horizon 20-40 cm.

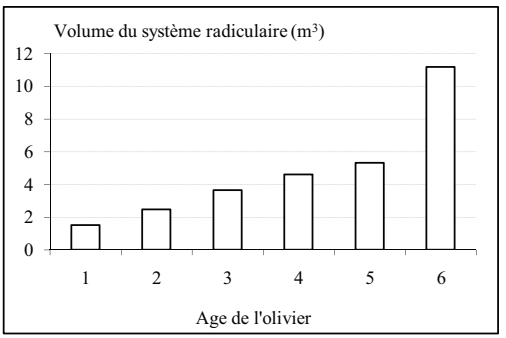


Figure 26. Evolution du volume du sol occupé par le système radiculaire (m^3) chez des oliviers âgés de 1 à 6 ans.

Le volume du système radiculaire a augmenté régulièrement chez les oliviers âgés de 1 à 5 ans. Ensuite il a doublé de volume atteignant 11,2 m^3 chez l'olivier de six ans. Ce développement important résulte de son extension latérale et en profondeur jusqu'à 110 cm. Au niveau de l'horizon de surface (0-20 cm) les racines ont été observées à plus de 2 m du tronc. En profondeur elles ont été observées à une distance maximale du tronc qui a varié de 110 à 195 cm selon l'horizon **(Tableau 12)**. Au delà de 100-120 cm les racines sont devenues moins nombreuses et de faible diamètre.

Tableau 12. Distance maximale entre les racines et le tronc et volume de sol occupé par les racines chez des oliviers âgés de 1an à 6 ans.

Profondeur (cm)/Age	1	2	3	4	5	6
	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0-20	105	105	125	145	150	212
20-40	115	110	130	145	145	195
40-60	0	100	125	125	125	180
60-80	0	80	100	125	125	165
80-100	0	0	0	0	100	155
100-120	0	0	0	0	0	110
Volume de sol occupé par les racines (m^3)	1,5	2,5	3,6	4,6	5,3	11,2

2.2. Densité radiculaire

L'analyse d'échantillons de sol prélevés à 40, 80 et 120 cm du tronc et à une profondeur variant de 0 à 120 cm sur de jeunes oliviers âgés de 1an à 6 ans a montré que la densité du chevelu radiculaire a varié en fonction de l'âge de l'olivier et de l'orientation. Les valeurs moyennes ont varié de 0,067 cm/cm^3 à 0,303 cm/cm^3. Elles sont généralement plus élevée du côté Sud que du côté Est.

L'olivier âgé de deux ans a présenté des valeurs de la densité plus élevées que celles que nous avons observées pour l'arbre âgé de quatre ans pour les distances 40 et 80 cm du tronc. La valeur moyenne observée pour ce dernier a été de 0,075 cm/cm^3. L'olivier âgé de trois ans a développé des densités plus élevées que l'olivier

âgé de quatre ans sauf pour la combinaison (120 cm, Est). A 120 cm du tronc, les racines sont plus nombreuses pour l'arbre âgé de quatre ans. Les densités radiculaires observées chez l'olivier âgé de six ans ont été beaucoup plus élevées atteignant une valeur moyenne pour l'ensemble des prélèvements de 0,303 cm/cm^3. Elle est deux fois plus élevée que celle de l'olivier âgé de cinq ans (0,133 cm/cm^3). La **figure 27** montre l'évolution de la densité radiculaire en fonction de l'âge.

Les résultats des analyses effectuées pour la détermination des densités radiculaires ont montré que les valeurs varient significativement en fonction de l'âge, de l'éloignement du tronc et de la profondeur du sol (au seuil de 5%). Les valeurs maximales ont varié de 0,067 cm/cm^3 à 0,237 cm/cm^3 chez les arbres âgés de un à cinq ans et généralement observées à une distance de 40 cm du tronc et en surface sur les 40 premiers centimètres. Elles ont atteint des valeurs de 0,67 cm/cm^3 chez l'arbre âgé de six ans. Ce résultat concorde avec celui que nous avons observé au niveau des tranchées.

A partir de la densité moyenne calculée pour chaque âge nous avons estimé la longueur du système radiculaire qui traduit la capacité des racines à absorber l'eau. Pour des volumes de sol compris entre 1,5 et 11,2 m^3, cette longueur a varié de 1 km à 7 km chez les arbres âgés de un à cinq ans. Elle passe ensuite à 33,9 km pour l'olivier de six ans. La détermination simultanée de la surface foliaire a permis de situer le rapport entre la longueur du système radiculaire et la surface de la canopée. Pour une valeur moyenne de cette surface égale à 14,75 m^2, nous obtenons un rapport de 2,29 km de racines/m^2 de feuillage.

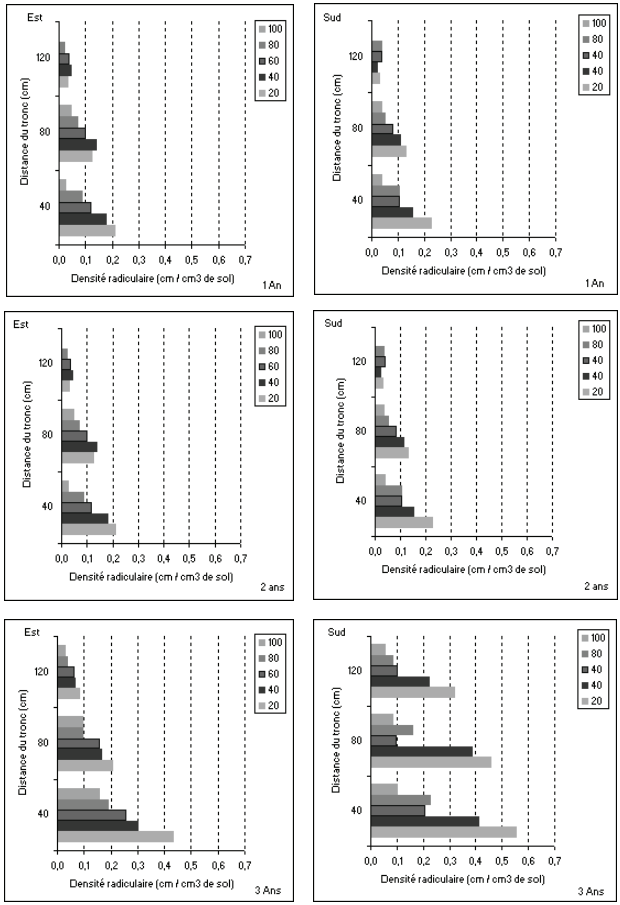


Figure 27 a. Evolution de la densité radiculaire (cm/cm^3) chez des oliviers âgés d'un à trois ans en fonction de la distance du tronc (40, 80 et 120 cm), de la profondeur (0 à 120 cm) et de l'orientation (Est et Sud).

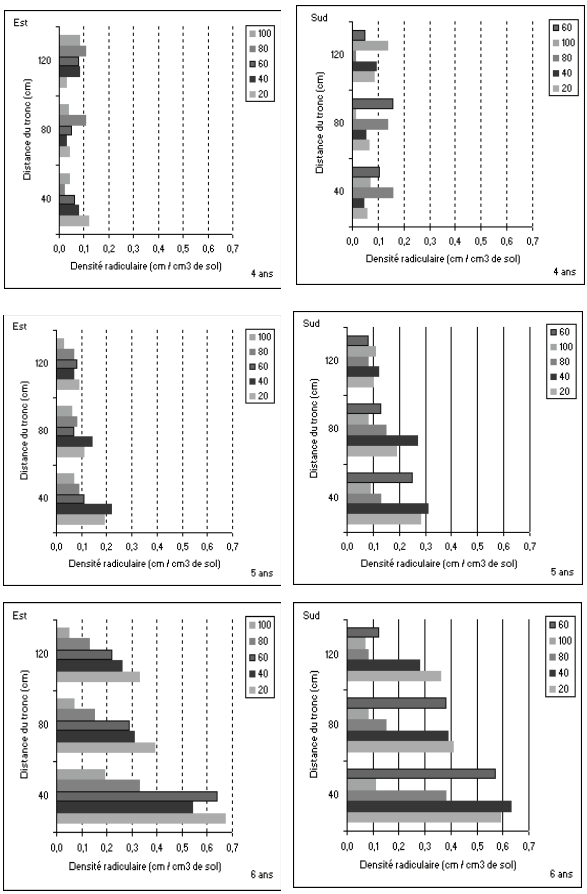


Figure 27 b. Evolution de la densité radiculaire (cm/cm^3) chez des oliviers âgés de quatre à six ans en fonction de la distance du tronc (40, 80 et 120 cm), de la profondeur (0 à 120 cm) et de l'orientation (Est et Sud).

2.3. Relation entre le développement de la frondaison et l'extension du système radiculaire

Le diamètre de la frondaison a augmenté rapidement durant les premières années de culture et particulièrement après la taille de formation. Au cours de ces quatre années, le niveau de production a été faible. Il a varié de quelques kilogrammes à quelques centaines de kilogrammes. Après la quatrième année, la taille de la frondaison et les rendements ont augmenté significativement mais différemment selon les variétés. Quant aux racines, elles se sont développées d'abord en surface en occupant une superficie de plus en plus importante qui a atteint 4,2 m^2 à la première année et 13,8 m^2 à la sixième année. Les racines les plus éloignées ont émergé à plus de 2 m du tronc (2003).

Le **Tableau 13** explicite l'évolution de la surface du sol occupée par les racines et celle qui est couverte par la frondaison au cours des six premières années d'âge. Au cours des quatre premières années de culture, la surface explorée par les racines (S_r) et celle de la frondaison (S_f) ont évolué différemment.

Si on examine les résultats des deux premières années, on constate que la surface occupée par les racines n'a pas augmenté alors que la surface de la frondaison a quadruplé. Au cours des deux années suivantes cette surface a doublé de valeur alors que la surface du système radiculaire a montré une extension plus faible jusqu'en 2002, au cours de laquelle nous avons observé une augmentation de 0,5 m^2 seulement. Ceci s'est traduit par un rapprochement des surfaces à partir de la cinquième année. Cette évolution est traduite par l'équation 5, qui exprime S_f en fonction de S_r **(figure 28).**

$$S_f\,(m^2) = 1{,}183\ S_r\,(m^2) - 3{,}602 \qquad r = 0{,}94 \qquad [5]$$

Tableau 13. Evolution de la surface du sol occupée par les racines d'olivier et de la surface couverte par la frondaison au cours des six premières années d'âge.

	1	2	3	4	5	6
Distance max. à laquelle sont observées les racines (m)	1,15	1,10	1,30	1,45	1,50	2,12
Surface du sol occupée par les racines (m^2)	4,20	3,80	5,30	6,60	7,10	13,8
Rayon maximum de la frondaison (m)	0,26	0,51	0,77	1,10	1,60	1,95
Surface couverte par la frondaison (m^2)	0,21	0,82	1,86	3,79	8,04	11,94
Sr / Sf	20,0	4,6	2,8	1,7	0,9	1,2

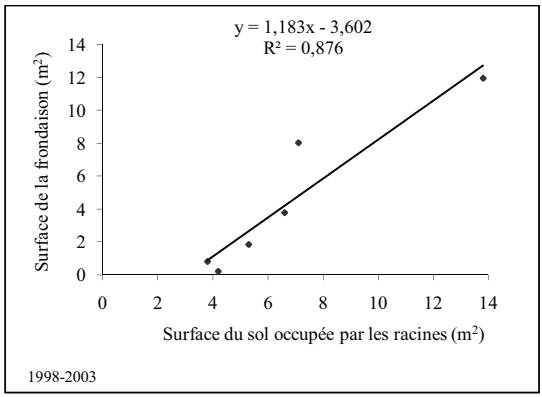


Figure 28. Relation entre la surface du sol couverte par la frondaison (S_f, m^2) et la surface occupée par les racines (S_r, m^2). Chaque point représente une année d'âge.

En 2003 la surface occupée par les racines a augmenté de plus de 90% par rapport à l'année 2002 pour une charge en fruits équivalente. Cette augmentation s'est faite de manière concordante avec celle de la frondaison puisque le rapport S_r/S_f a été maintenu à une valeur proche de 1.

3. Paramètres de fructification

3.1. Floraison

La floraison démarre au cours de la première quinzaine du mois d'avril et s'étend sur trois à quatre semaines (22-28 jours). La pleine floraison (PF) a été observée entre le 17 avril (2002) et le 12 mai (1999) selon l'année et le cultivar. L'année 2002 a été marquée par une floraison précoce. La pleine floraison a été observée le 17/4/2002 avec une avance de 15 jours par rapport à l'année 2000, au cours de laquelle l'épanouissement des fleurs à 91 % (PF) a été observé le 4/5/2000.

La floraison démarre plus ou moins précocement selon la variété. Elle exprime un léger décalage en faveur de la variété Meski qui semble ouvrir ses premières fleurs quelques jours avant les autres variétés. A l'opposé, la variété picholine est plus tardive puisque le pourcentage de fleurs épanouies à la même date est plus faible que chez les autres cultivars. Les variétés Manzanille et Meski présentent les mêmes pourcentages d'ouverture des fleurs aux mêmes dates comme il est apparaît au **Tableau 14**. Ce comportement pourrait influencer dans une large mesure la pollinisation des quatre cultivars en particulier celui de la variété Meski qui présente une auto - incompatibilité quasi totale.

Tableau 14. Date de pleine floraison (PF) et % de fleurs épanouies chez l'olivier Chétoui, Meski, Manzanille et Picholine montrant une variation intervariétale de la période de PF chez les quatre variétés

	Manzanille	Chétoui	Meski	Picholine	Moyenne	Ecart-type
2000	95,8	95,8	95,8	75,0	90,6	10,4
2001	91,7	91,7	95,9	87,5	91,7	3,4
2002	83,3	79,2	83,3	70,8	79,7	5,9
2003	93,2	87,3	95,0	90,5	94,0	3,4

3.2. Croissance de l'olive

Le cycle de croissance de l'olive s'étend de mai à novembre sur une période de 187 jours en moyenne. L'olive se développe avec une vitesse de croissance variable selon l'année et le stade phénologique. Les valeurs maximales ont varié de 0,18 à 0,27 mm/jour comme le montre le **Tableau 15**.

Tableau 15. Longueur du cycle de croissance (jour) et vitesse maximale de croissance de l'olive (mm/jour) en fonction de l'année.

	2000	2001	2002	2003
Longueur du cycle (jour)	191	183	187	186
Pic de croissance (mm/jour)	0,27	0,23	0,18	0,23

Durant les quatre années de suivi de la croissance de l'olive (2000-2003), le diamètre équatorial a évolué en suivant une courbe à trois phases caractérisée par une première phase accélérée, une

seconde phase estivale ralentie et une troisième phase automnale accélérée avec une variation inter annuelle importante **(figure 29).**

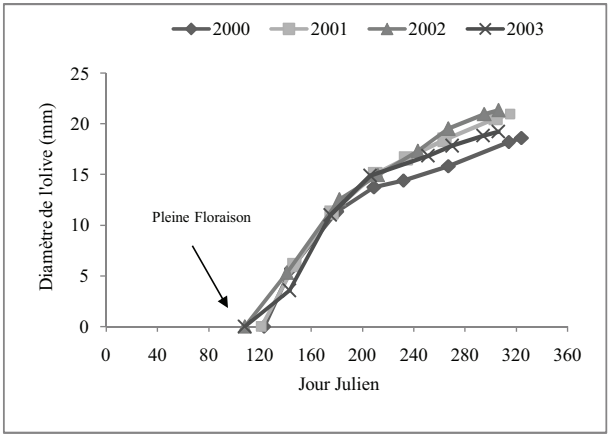


Figure 29. Evolution du diamètre équatorial moyen de l'olive (mm) mesuré durant la période 2000-2003.Toutes variétés confondues.

Au cours des années 2000 et 2001, la première phase de croissance (Phase I) a été observée sur courte période avec une vitesse maximale de 0,27 et 0,36 mm/jour respectivement. En 2002 et 2003, la croissance rapide de l'olive a démarré une quinzaine de jours plutôt et a atteint une vitesse maximale de 0,22 et 0,29 mm/jour respectivement **(figure 30).**

A la fin de ce stade une chute massive de jeunes fruits a été observée. Elle a été suivie par le processus de durcissement des noyaux des olives qui a eu lieu entre le 20 juin et le 10 juillet. La deuxième phase de croissance (II) s'est produite avec une vitesse plus faible variant de 0,03 à 0,08 mm/jour. Elle commence dès la fin du mois de mai et dure de 60 à 90 jours selon l'année. Après cette phase de ralentissement estival, l'olive entame la troisième

phase de croissance qui peut démarrer dès la fin du mois d'août. Elle dure de 20 à 30 jours au cours desquels le fruit se développe avec une vitesse moyenne variant de 0,04 à 0,09 mm/jour. Au delà du 270ème jour de l'année, la vitesse de croissance diminue et peut s'annuler. Les olives ont été récoltées entre le 20 Octobre et le 9 Novembre.

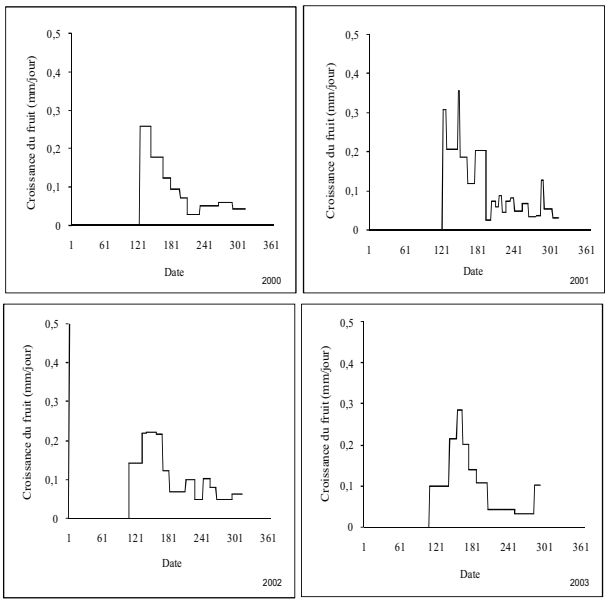


Figure 30. Vitesse de croissance de l'olive (mm/jour) exprimée en fonction du temps (Jours Julien) observée au cours de la période 2000-2003. Toutes variétés confondues.

La cinétique de croissance de l'olive présente une variation inter annuelle matérialisée par une première phase de croissance plus longue durant les années 2002 et 2003 qui résulterait d'une mise à fruits beaucoup plus importante. Cependant, malgré cette différence, le processus de durcissement des noyaux des olives a

été observé à la même période alors que la récolte a été faite plus précocement à partir de l'année 2001 à cause probablement de la hausse de la température.

Outre ces variations interannuelles, des écarts sont observés entre les variétés que ce soit au niveau de leur cinétique de croissance ou du calibre final. En dehors de la variété Chétoui qui est caractérisée par un fruit plus petit, les variétés Manzanille, Meski et Picholine présentent une cinétique de croissance et des diamètres à la récolte plus ou moins variables selon l'année **(figure 31).**

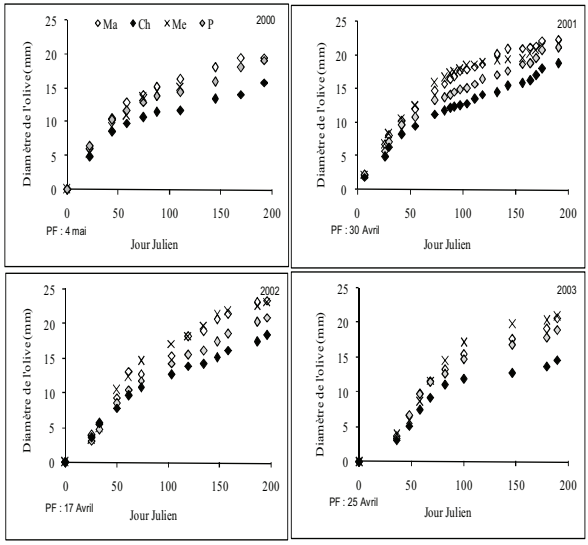


Figure 31. Croissance en diamètre de l'olive (mm) Manzanille, Meski, Picholine et Chétoui au cours de la période 2000-2003. Chaque mesure est la moyenne de 60 fruits (5 fruits/arbre, 3 arbres/variété/bloc).

L'analyse statistique des données a montré que les écarts de diamètre observés à la récolte entre les trois variétés Meski, Manzanille et Picholine ne sont pas significatifs à l'échelle d'une même année. Par contre les différences observées entre les quatre années sont significativement différentes au seuil de 5%.

4. Paramètres de production

4.1. Précocité d'entrée en production des variétés étudiées et rendements obtenus

L'entrée en production des variétés Chétoui, Picholine et Manzanille a été observée à la deuxième année de culture (1999), avec un rendement initial de 9 kg d'olives par hectare, récoltés sur 15% des pieds. Plus de 97% des olives ont été produites par les variétés Chétoui et Picholine. La variété Meski a produit ses premiers fruits en 2001, bienqu'une mise à fleurs a été observée en 2000.

Au cours de l'année 2000, la production a été de 32 kg/ha avec des différences importantes entre les variétés **(Tableau 16)**. A partir de l'année 2001, les productions ont augmenté significativement, particulièrement chez les variétés Chétoui et Picholine avec une production de 2,4 et 3,0 kg en moyenne par olivier. La production a atteint chez les variétés Meski, Manzanille et Chétoui son maximum à la cinquième année de culture avec des valeurs variant de moins de 500 kg/ha (Meski) à plus de 3000 kg/ha d'olives (Chétoui). Les variétés Manzanille et Picholine ont produit plus de 2000 kg/ha d'olives avec une moyenne par arbre de 8,9 kg pour Manzanille, 8,3 kg pour Picholine et 11,0 kg pour Chétoui. En 2003, une baisse de la production a été observée chez les variétés Meski, Chétoui et Manzanille. La variété Chétoui a produit en

moyenne 7kg d'olives /arbre contrairement à la variété Picholine dont la production a augmenté de 24% **(Tableau 16)**.

Malgré cette baisse de la production en 2003 qui résulterait notamment de l'effet de l'alternance des productions, le rendement cumulé à l'hectare durant la période 1999-2003 a dépassé 5000 kg chez les variétés Manzanille, Chétoui et Picholine **(Tableau 17)**. Le faible rendement observé chez la variété Meski est dû à son auto - incompatibilité; malgré la présence des autres cultivars, sa production est restée faible ne dépassant pas 500 kg/ha.

Tableau 16. Rendement annuel et cumulé en olives par variété (kg/ha) durant la période 1999 - 2003.

	Manza -nille	Chétoui	Meski	Picholine	Moy .	Ecart- type
Rendement (kg/ha)						
1999	11	12	0	13	9	6
2000	33	17	0	80	32	34
2001	369	662	4	845	470	367
2002	2461	3080	497	2315	2088	1111
2003	2335	2113	306	3030	1945	1161
Cumul (kg/ha)	5209	5884	807	6282	4546	2192

Seuil de signification de 5%.

Tableau 17. Production d'olives/arbre et par variété (kg).

	Manza-nille	Chétoui	Meski	Picholine	Moy.	Ecart-type
1999	0,04	0,04	0,00	0,05	0,03	0,02
2000	0,12	0,06	0,00	0,29	0,12	0,11
2001	1,33	2,38	0,02	3,04	1,69	1,14
2002	8,85	11,08	1,79	8,33	7,51	3,46
2003	8,40	7,60	1,10	10,90	7,00	3,62
Cumul kg/arbre	18,74	21,17	2,90	22,60	16,35	7,89

Seuil de signification de 5%.

La production cumulée par arbre sur les cinq années de production a été de 16,35 kg d'olives. Le minimum a été observé chez le cultivar Meski (2,9 kg) alors que le maximum atteint est de 22,6 kg, observé chez la variété Picholine.

4.2. Pomologie des olives

Les olives Manzanille et Meski entament leur maturité dès la mi-septembre. Elles sont récoltées à partir de la troisième semaine du mois d'octobre. Elles présentent un poids moyen de 3,9 et 4,5 g/fruit respectivement **(Tableau 18).** Les olives Chétoui et Picholine sont récoltées plus tard. Leurs fruits ont un poid moyen de 2,8 et 5,1 g/fruit.

Tableau 18. Pomologie des olives Chétoui, Meski, Manzanille et Picholine à la récolte. Valeurs moyennes calculées entre 2000 et 2003.

	Manzanille	Chétoui	Meski	Picholine
Diamètre de suture (mm)	20,16	14,61	20,65	18,16
Longueur du fruit (mm)	22,63	19,56	24,53	26,37
L/D	1,12	1,34	1,19	1,45
Poids moyen (g)	3,97	2,17	4,50	4,50
Couleur à maturité	Noire	Violacée /Verte	Violette	Violacée à la base
Forme	Ronde	Ovale	Ellip-tique	Ovale
Nombre de fruits/kg	250	500	225	225
Goût	Peu amer	Peu amer	Sucré	Amer

Le poids des olives et leurs mensurations varient en fonction de l'année comme il est illustré dans le **Tableau 19.**

Tableau 19. Variation du calibre moyen des olives Chétoui, Meski, Manzanille et Picholine en fonction de l'année entre 2000 et 2003.

	Poids moyen de l'olive (g)				Diamètre équatorial (mm)			
	Manzanille	Chétoui	Meski	Picholine	Manzanille	Chétoui	Meski	Picholine
2000	4,4	2,9	-	4,7	19,6	15,9	-	19,2
2001	5,8	2,7	5,6	5,0	22,2	18,1	21,2	20,8
2002	5,5	2,9	6,5	5,5	23,5	17,5	22,7	20,4
2003	3,9	2,2	4,5	4,5	20,8	14,7	21,1	18,9
Moy. (g)	4,9	2,7	5,5	4,9	21,4	16,6	21,7	19,8
Ecart-type	0,90	0,33	1,00	0,43	1,69	1,54	0,90	0,92

4.3. Rapport surface foliaire / Nombre de fruits produit

Le rapport du nombre de fruits produit (N) par la surface foliaire (SF) est une caractéristique variétale qui reflète la disponibilité des assimilats et leur répartition entre les organes sources et les organes puits. Les valeurs obtenues pour les quatre variétés sont portées au **Tableau 20**.

La variété Meski est celle qui présente le rapport SF/N le plus faible en raison de sa faible productivité, contrairement à la variété Chétoui qui montre le rapport le plus important, indiquant un potentiel élevé de production par rapport à la biomasse végétale disponible.

Tableau 20. Rapport du nombre de fruits produit (N) par la surface foliaire (SF, cm^2) chez des oliviers âgés de six ans de la variété Chétoui, Meski, Picholine et Manzanille.

	SF (cm^2)	N_{fr}	N / SF (cm^2)
Chétoui	1 270	3295	2,59
Meski	1 420	212	0,15
Manzanille	1 410	2185	1,55
Picholine	1 800	2172	1,21
Moyenne	1 475	1 966	1,37
Ecartype	227	1 282	1,00

Seuil de signification de 5%.

4.4. Teneur en huile

Au cours de l'année 2003 une analyse de l'huile a été effectuée en vue de déterminer le pourcentage d'huile chez les quatre variétés étudiées. Différentes dates de prélèvements ont été considérées. Les résultats présentés au **Tableau 21** montrent que le

pourcentage d'huile a été faible jusqu'à début décembre 2003 en particulier chez la variété Chétoui, puis il a augmenté rapidement au cours de la deuxième décade du mois. Ce retard est apparemment lié aux conditions climatiques de l'année qui auraient freiné l'accumulation de l'huile. Chez les variétés Manzanille, Meski et Picholine les teneurs n'ont pas beaucoup changé au cours de la deuxième analyse, par contre la teneur en huile a pratiquement doublé chez le cultivar Chétoui.

Tableau 21. Teneur en huile (%) par variété au cours de l'année 2003.

	06/12/2003	16/12/2003
Manzanille	13	15
Chétoui	8	15
Meski	13	13
Picholine	15	16

4.5. Relation entre les paramètres de croissance et de production et les apports hydrique

Afin de situer l'adéquation de la méthode de pilotage de l'irrigation et l'effet des apports hydriques sur la croissance nous avons représenté l'accroissement annuel en hauteur (cm) pour chaque variété en fonction du rapport $P+I/ET_c$ **(figure 32).**

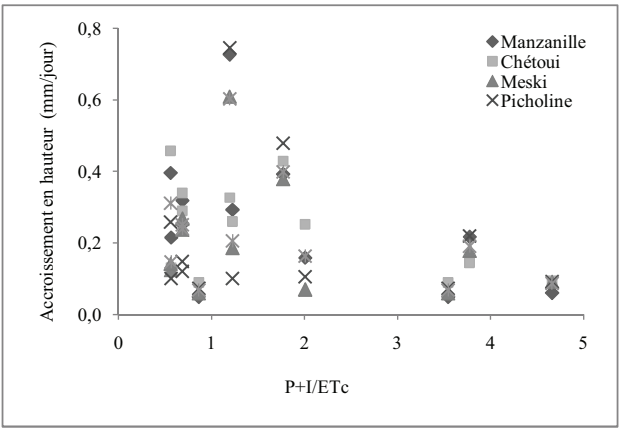


Figure 32. Relation entre l'accroissement annuel en hauteur (cm) et le rapport $P+I/ET_c$ chez les variétés Manzanille, Chétoui, Meski et Picholine.

Pour calculer le rapport $P+I/ET_c$, les quantités d'eau délivrées en litres ont été converties en mm en les rapportant à la surface humectée au cours de l'irrigation. Durant les années 1998 et 1999 nous avons irrigué au moyen de cuvettes humectant une surface de $1m^2$. Durant les deux années suivantes nous avons adopté une irrigation par rigoles, qui ont été confectionnées à 1 m du tronc. La surface du sol humectée a mesuré 4 m^2. Pendant les années 2002 et 2003, les irrigations ont été pratiquées au moyen du goutte à goutte humectant une surface de 6 m^2 par olivier. Les figures suivantes expriment la relation entre l'accroissement annuel en hauteur et le rapport $P+I/ET_c$ et le rendement en fonction du même rapport.

L'analyse de cette figure montre que la valeur optimale de $P+I/ET_c$ semble se situer au alentour de 1,2 pour les quatre variétés.

CHAPITRE III

DYNAMIQUE DE LA CROISSANCE DE L'OLIVIER AU COURS D'UN CYCLE ANNUEL

1. Introduction

Au cours des six années de suivi, d'importantes variations interannuelles ont été observées et quantifiées. Pour expliquer ces variations, nous avons quantifié et analysé de plus près la dynamique de croissance de l'arbre au cours du cycle annuel durant la période 1998-2003. Ses relations avec certains facteurs physiques notamment l'eau et la demande climatique ont été investiguées. Les résultats de cette analyse sont présentés et discutés dans ce chapitre.

2. Dynamique de la croissance en hauteur : Modèle phénologique global

2.1. Description du modèle phénologique global

Le suivi de la croissance de l'olivier durant les six premières années de culture a conduit à l'élaboration d'un modèle phénolologique global illustré par la **figure 33**. Ce modèle montre une croissance continue qui se poursuit même durant l'hiver avec sept périodes de croissance dont trois périodes de croissance rapide. Ces sept périodes phénologiques sont caractérisées par des vitesses

différentes avec une alternance de phases accélérées et décélérées et des valeurs maximales observées au cours du printemps ou de l'automne.

La première période de croissance ou « période 1 » présentée comme une « période de quiescence » se produit durant le premier trimestre de l'année avec une vitesse variant de 0,02 à 0,26 cm/jour selon l'année et un maximum moyen de 0,11 cm/jour. Elle est suivie par une période de croissance accélérée qui se produit de fin mars jusqu'à mi avril (période 2) avec des vitesses élevées atteigant un maximum moyen de 0,67 cm/jour durant la deuxième semaine du mois d'avril. La troisième période de croissance ou « Période 3 » a lieu entre mi avril et fin mai. Au cours de cette phase, la vitesse de croissance diminue pour atteindre une valeur minimale de 0,14 cm/jour à la fin du mois de mai. La croissance estivale a lieu entre fin mai et début septembre. De fin mai à mi juillet (Période 4) l'axe principal croit avec une vitesse croissante comprise entre 0,14 et 0,31 cm/jour. Le pic de croissance est enregistré à la mi-juillet ; par la suite la vitesse de croissance diminue atteignant la valeur moyenne de 0,21 cm/jour, caractérisant la période 5 de croissance qui a lieu entre mi juillet et début septembre. A l'entrée de l'automne, la croissance en hauteur s'accélère entammant la sixième période de croissance ou « Période 6 » qui se produit avec une vitesse moyenne comprise entre 0,21 et 0,29 cm/jour. La valeur maximale est observée à la mi septembre. Après ce pic automnal, la croissance ralenti progressivement. A partir du mois de novembre, l'axe principal s'allonge avec une faible vitesse de l'ordre de 0,06 cm/jour, caractérisant la « période 7 » de quiescence.

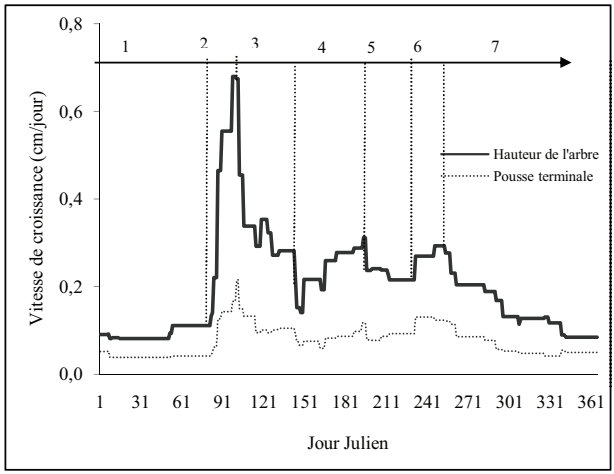


Figure 33. Croissance moyenne en hauteur de l'olivier et de la pousse terminale (cm/jour) établie à partir des observations réalisées pendant six années consécutives, de 1998 à 2003. Le modèle phénologique montre sept (7) périodes de croissance entre le 1^{ier} janvier et le 31 décembre. (1): Période hiverno-printanière (janvier-mars), (2) et (3): Croissance printanière accélérée (mars-mi avril) et décélérée, (4) et (5): Croissance estivale accélérée et décélérée, (6) : Croissance automnale suivie de la période de quiescence (7).

2.2. Variations interannuelles

Le modèle phénologique global montre différentes périodes de croissance **(figure 35).** Cependant, les sept périodes identifiées dans ce modèle (qu'on appellera modèle de base) ne sont pas observées tous les ans. De même, les trois périodes de croissance accélérées ne sont pas présentes tous les ans. La vitesse maximale de l'année peut être observée au printemps ou en automne selon l'année. Le **Tableau 22** rapporte les valeurs maximales moyennes

et par variété observées au printemps (mars-mai). Elles représentent le maximum de l'année pour 1998 et de 2000 à 2002, mais ne correspondent pas au maximum de 1999 et 2003, leur pic de croissance a été en effet enregistré en automne.

Tableau 22. Vitesses de croissance en hauteur (cm/jour) observées chez l'olivier Manzanille, Chétoui, Meski et Picholine au cours de la croissance printanière (1998-2003). Les valeurs observées en 1998, 2000, 2001 et en 2002 correspondent au maximum de l'année

	Manzanille	Chétoui	Meski	Picholine	Moy.	Ecart-type
1998	0,73	0,43	0,61	0,77	0,61	0,15
1999	0,17	0,17	0,33	0,22	0,22	0,08
2000	0,62	0,57	0,60	0,60	0,60	0,02
2001	1,71	1,68	1,67	1,65	1,67	0,03
2002	1,32	1,43	1,58	1,25	1,40	0,14
2003	0,07	0,10	0,19	0,06	0,11	0,06

Seuil de signification de 5%.

La contribution moyenne de la croissance printanière et automnale dans la croissance annuelle en hauteur est de 33 et de 26% respectivement. La croissance estivale a été observée durant 4 années consécutives, de 1998 à 2001. Elle s'est produite avec une vitesse plus faible que celle qui a été observée au cours de la vague principale (printanière ou automnale selon l'année) et une valeur maximale de 0,50 cm/jour atteinte en 2001. La croissance estivale produit en moyenne 27% de la croissance annuelle en hauteur. Toutefois, d'importantes différences sont notées entre les années au cours desquelles elle est identifiée. La **figure 34** présente

l'évolution de la vitesse de croissance en hauteur en fonction du temps pour les différentes années de suivi.

Au cours de l'année 1998, nous avons observé trois vagues de croissance avec un maximum enregistré au printemps, contrairement à l'année 1999, durant laquelle le maximum de croissance a été observé en automne, assurant la majeure croissance de l'année. Cette dynamique de croissance différente pourrait résulter du déficit hydrique observé au début de l'année 1999. Au cours de l'année 2000, la vague de croissance printanière a été observée plus tard qu'en 1998 probablement à cause de la pratique de la taille de formation qui a été appliquée tardivement et sévèrement. Les vagues de croissance estivale et automnale ont eu lieu en juillet et au cours du mois de septembre. En 2001, nous avons observé les 3 périodes de croissance rapide et enregistré les vitesses de croissance les plus élevées de toute la période expérimentale. Les conditions de haute température et d'apport de l'eau durant les semaines qui ont précédé la vague de croissance printanière pourraient expliquer ce développement important et qui a été soutenu jusqu'à la fin de l'année. Des vitesses importantes ont été aussi enregistrées au cours du printemps 2002. Cependant nous n'avons pas enregistré de vagues de croissance estivale et automnale. Après le pic printanier, les vitesses de croissance ont diminué rapidement. La charge élevée en fruits observée au cours de l'année 2002 pour la première fois pourrait être à l'origine de cette dynamique de croissance différente. L'année 2003 a été caractérisée par une croissance faible tout au long de l'année avec l'absence de vagues de croissance. Cette cinétique résulterait de l'effet de plusieurs facteurs dont notamment l'entrée en compétition des fruits, les conditions hydriques de l'année (engorgement du sol suite aux précipitations élevées reçues en début d'année, puis au mois de septembre) et probablement l'effet de l'âge. Les résultats obtenus à partir de la paramétrisation de la

croissance des rameaux latéraux porteurs de fruits au cours de l'année 2003 ont montré une croissance importante, qui aurait concurrencé la croissance de l'axe principal et de son apex.

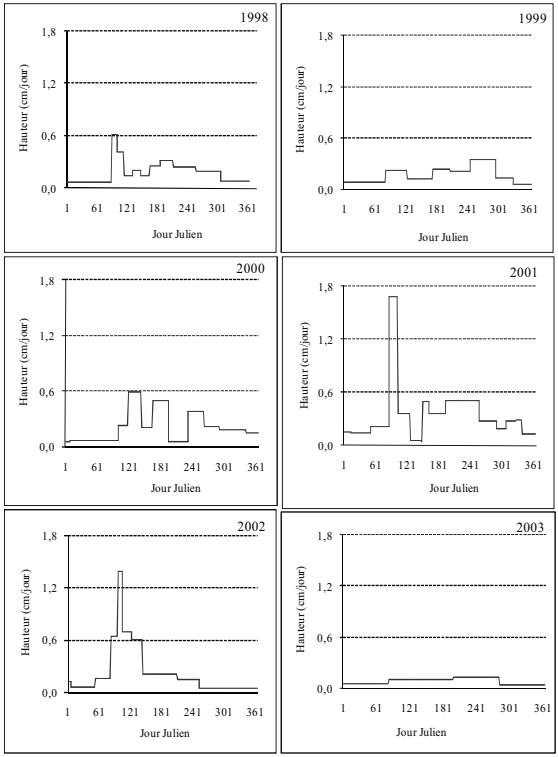


Figure 34. Croissance moyenne en hauteur de l'olivier (cm/jour) observée au cours des six premières années de l'essai. Les vitesses de croissance sont calculées en considérant les différentes mesures effectuées pendant le cycle annuel. Chaque valeur est une moyenne de 48 observations. Les sept périodes de croissance ne sont pas identifiées tous les ans ainsi que les trois périodes de croissance rapide.

Les variations observées au cours des sept périodes de croissance sont présentées de manière schématique dans la **figure 35** pour les différentes années de suivi. La variation moyenne est indiquée ainsi que les différentes dates délimitant les sept périodes phénologiques. Les périodes de croissance importante sont colorées en noir.

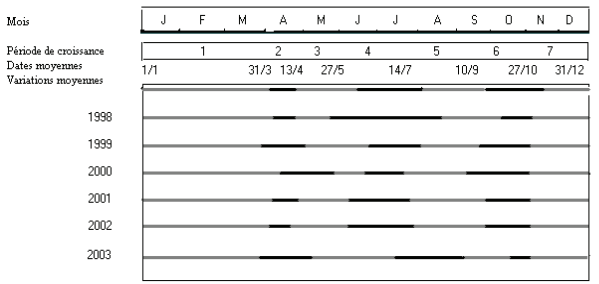


Figure 35. Représentation schématique de la variation intra et inter annuelle de la croissance en hauteur de l'olivier observée au cours des six années de suivis.

Les variations les plus importantes sont observées d'avril à juillet. Elles sont matérialisées par des périodes plus ou moins longues selon les années, plus précoces ou plus tardives. Ces différences résulteraient notamment de l'effet des facteurs de l'environnement et de la charge en fruits, qui vont affecter la dynamique de croissance au niveau des différentes périodes phénologiques et engendrer des accroissements annuels plus ou moins importants.

2.3. Expression du modèle phénologique au cours des années productives et non productives

Les résultats obtenus lors de l'analyse de la cinétique de la croissance en hauteur au cours des six années de l'expérimentation ont montré des variations importantes d'une année à l'autre. Ces années sont caractérisées chacune par des conditions expérimentales et culturales différentes et notamment d'un niveau de production donné. En nous basons sur ce paramètre, nous avons analysé la dynamique de la croissance en hauteur en distinguant les années productives et non productives. Nous avons représenté sur le même graphique **(figure 36)** les trois modèles de croissance : le modèle de base de la figure 1, le modèle des années non productives (1998 et 1999) et le modèle des années productives (2000 à 2003). Ces deux derniers modèles ont été comparés au modèle de base (**figure 33).**

En absence de productions (1998 et 1999), la période 1 de croissance semble être plus longue que celle qui est observée dans le modèle de base alors que la vague de croissance printanière semble se produire au cours de la première quinzaine d'avril avec une vitesse maximale plus faible, de l'ordre de 0,42 cm jour^{-1}. Après le pic printanier, la vitesse de croissance diminue et reste faible jusqu'à mi juin. La croissance estivale démarre en même temps que celle qui est observée au niveau du modèle de base mais dure plus longtemps. La vague de croissance automnale démarre plus tard et se poursuit jusqu'à fin octobre.

La **figure 36** montre que la croissance en hauteur mesuré au cours des années productives (2000-2003) présente un modèle apparenté au modèle de base, avec toutefois quelques différences, matérialisées par des vitesses de croissance plus élevées au cours des vagues de croissance printanière et estivale. De même, le pic de croissance observé au début du mois de mai est plus élevé en année

de production que celui que nous avons observé au niveau du modèle de base.

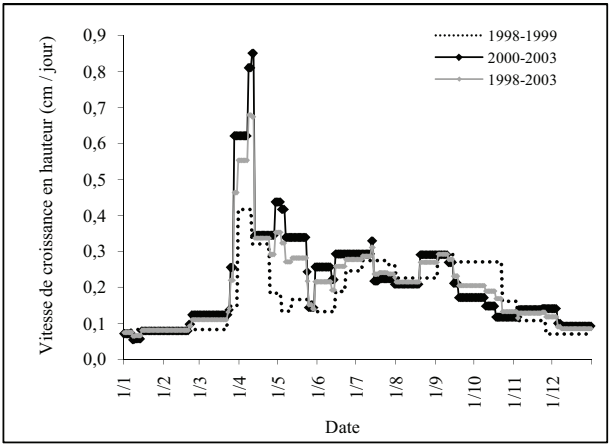


Figure 36. Croissance en hauteur de l'olivier (cm/jour) durant les deux premières années improductives (1998 et 1999) et au cours des années de production (2000-2003) et sa variation par rapport au modèle de base (1998-2003).

2.4. Comportement des variétés au niveau du modèle global

Le modèle phénologique global est représenté pour les quatre variétés étudiées dans la **figure 37.**

Les variétés Manzanille, Chétoui, Meski et Picholine ont montré peu de différences. On remarque néanmoins que les variétés Chétoui et Meski croient d'avril à mi juillet avec des vitesses légèrement plus élevées alors que la variété Picholine a montré des valeurs plus faibles. La variété Manzanille a présenté des valeurs plus élevées en automne mais plus faibles de janvier à mars. De mi-

juillet à mi août, le cultivar Meski a présenté les vitesses les plus faibles.

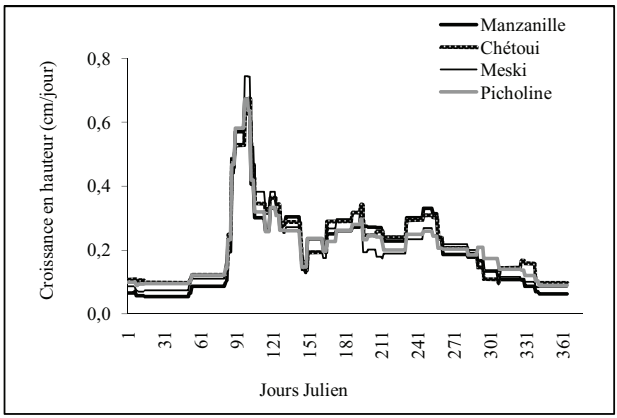


Figure 37. Croissance moyenne en hauteur de l'olivier (cm/jour) observée chez les variétés Manzanille, Meski, Chétoui et Picholine. Chaque valeur est la moyenne de 12 observations.

3. Dynamique de la croissance des rameaux fructifères comparée au modèle phénologique

La croissance des rameaux fructifères suivie au cours de la campagne 2003 est illustrée par la **figure 38.** L'analyse de cette figure montre une dynamique de croissance apparentée à celle qui est présentée dans le modèle phénologique global, montrant également sept périodes de croissance**.** Cependant, cette similarité doit être considérée avec précaution étant donné que le modèle de base est établi à partir de six années d'observations alors que la croissance des rameaux fructifères est représentée par une seule année de mesures. Toutefois, on peut relever certaines différences notamment au niveau des vagues de croissance. La vague de

croissance printanière du rameau semble démarrer plus tard que celle de l'axe principal, environ d'une semaine. Le pic de croissance printanier est apparemment atteint dix jours plus tard. La vague de croissance estivale est observée à la même époque mais n'a pas la même ampleur alors que la vague automnale semble se produire plus tard après une période de faible croissance du rameau observée à la fin du mois d'août, au moment même où celle de l'axe principal augmente, marquant sa vague de croissance automnale. Ces variations, même si elles ne sont pas établies avec la même échelle de temps, révèlent des différences au niveau des processus physiologiques impliqués au cours de chaque période de croissance et pour chacune des deux structures.

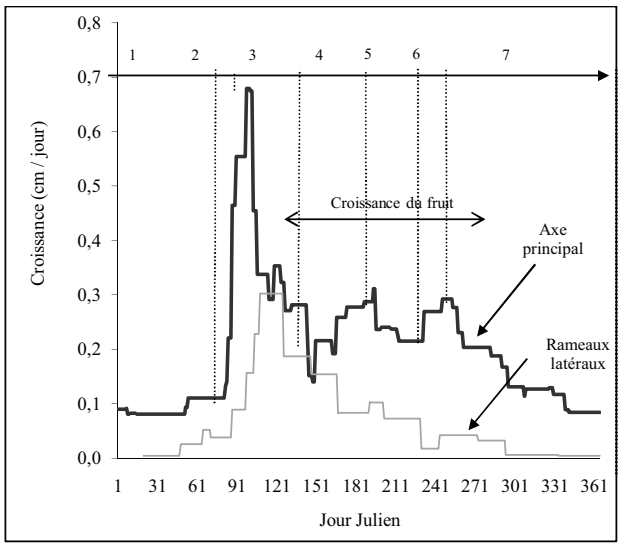


Figure 38. Croissance moyenne des rameaux latéraux (cm/jour) observée au cours de l'année 2003 et superposée au modèle phénologique de base (Axe principal).

4. Dynamique de la croissance de l'olive et modèle phénologique global

Les modèles de croissance établis pour la hauteur et pour la pousse terminale au cours des années de production (2000-2003) ont été représentés sur le même graphique que celui que nous avons établi pour la croissance du fruit en considérant pour les trois paramètres suivis un modèle moyen élaboré à partir des observations des quatre années de production.

L'analyse de la **figure 39** montre que la croissance végétative est concurrencée par la croissance du fruit et particulièrement au cours du premier stade de son développement. Après le pic de croissance printanière, la vitesse de croissance en hauteur et de l'apex diminuent au moment même où la vitesse de croissance de l'olive augmente rapidement. Cette période correspond à l'époque de floraison, de nouaison et du premier stade de développement du fruit, qui ont lieu entre les jours juliens 123 et 149.

La vitesse de croissance de l'olive augmente après la nouaison pour atteindre un maximum de 0,24 cm/jour à la fin de cette période (jour 150), mais sa croissance se poursuit avec une vitesse élevée jusqu'au jour julien 162, c'est-à-dire jusqu'à la mi-juin. Au cours de cette période les noyaux des olives commencent à durcir alors que la vitesse de croissance en hauteur et celle de la pousse terminale augmentent de nouveau marquant le pic de croissance estivale puis celui de l'automne. Au cours de cette période la vitesse de croissance du fruit continue à diminuer pour atteindre son minimum (0,05 mm/jour) vers le jour 211. Cette faible valeur est maintenue jusqu'au jour 284. Un leger rebondissement de la vitesse de croissance du fruit a été observé vers la mi octobre (jour 287) alors que la croissance végétative continue à ralentir.

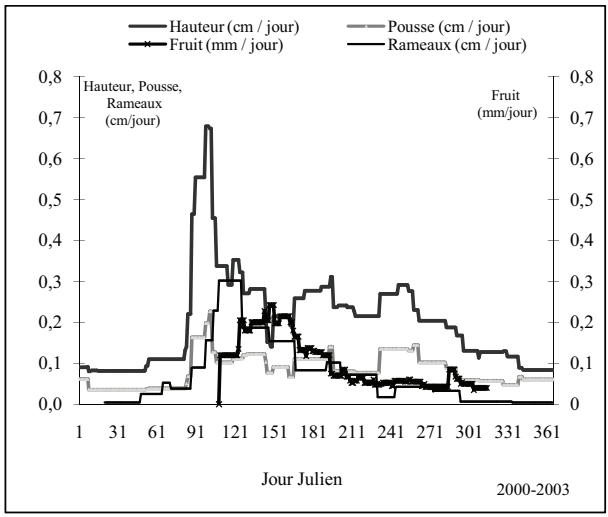


Figure 39. Evolution de la croissance en hauteur de l'olivier, de la pousse terminale et celle des rameaux fructifères (cm/jour) durant les années de production (2000-2003) en rapport avec le développement de l'olive (mm/jour).

5. Dynamique de croissance de la frondaison à l'échelle de l'année

La croissance de la frondaison a été paramétrée au mois de février et en septembre. Au cours des années de taille, la mesure de la circonférence a été effectuée avant et après la coupe. De ce fait la dynamique de croissance de la frondaison a été étudiée en considérant deux périodes de croissance: période de post-taille allant de février à mi septembre et de la mi-septembre au mois de février. La variation intra annuelle de la vitesse de croissance en diamètre de la frondaison observée au cours de ces deux périodes est illustrée par la **figure 40.**

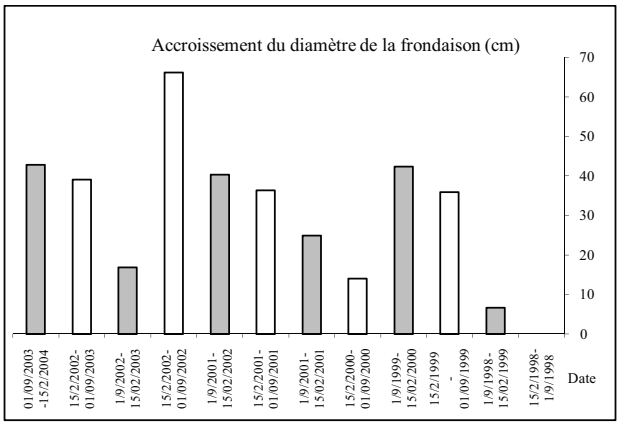


Figure 40. Variation intra annuelle de la croissance diamétrale de la frondaison (cm) durant la période 1998-2003. Les accroissements sont calculés de février à septembre et de septembre au mois de février suivant.

L'analyse de la **figure 42** montre que le développement de la frondaison durant la période allant du 15/2 au 1/9 est plus faible que celui qui est observé pendant la période automno-hivernale excepté en 2002 au cours de laquelle nous avons enregistré un accroissement plus important entre février et septembre. L'année 2002 a été la première année de production élevée. Les vitesses de croissance enregistrées durant chacune de ces deux périodes sont présentées au **Tableau 23.**

Tableau 23. Croissance intra annuelle du diamètre de la frondaison (cm/jour) au cours de la période 1998-2003.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Mi février–1^{ier} septembre	-	0,18	0,07	0,18	0,34	0,20
1^{ier}septembre-Mi février	0,04	0,25	0,15	0,24	0,10	0,25

La vitesse de croissance de la frondaison varie de 0,04 à 0,34 cm/jour. En 2000 nous avons enregistré la vitesse la plus faible entre mi février et le 1^{ier} septembre de 0,07 cm/jour qui serait liée à la pratique de la première taille de formation. Celle-ci a été sévère et achevée tardivement, au mois d'avril, alors que les premières fleurs étaient déjà épanouies.

6. Dynamique de croissance du tronc comparée au modèle phénologique global

Le suivi de la croissance du diamètre du tronc a été réalisé en même temps que celui de la hauteur et de la pousse terminale. Son évolution moyenne en fonction du temps élaborée à partir de six années d'observations est illustrée par la **figure 41.**

La dynamique de croissance du tronc présente un modèle phénologique apparenté au modèle de base et montre sept périodes phénologiques plus ou moins distinctes. Cependant quelques différences sont notées entre les deux modèles, entre début juin et le 15 septembre.

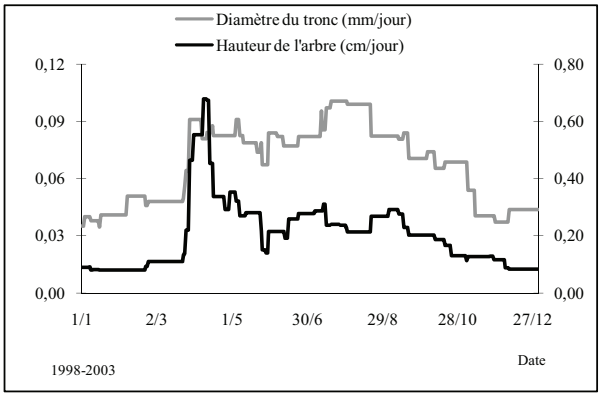


Figure 41. Modèle de croissance du diamètre du tronc (mm/jour) comparé au modèle de croissance en hauteur de l'axe principal de l'olivier (cm/jour).

La première période de croissance du tronc se produit de janvier à fin mars avec une vitesse maximale moyenne de 0,05 mm/jour. La période 2 qui caractérise la vague de croissance du printemps se produit en même temps que celle de l'axe principal et atteint une valeur maximale de 0,09 mm/jour. Au cours de la période 3 de croissance, la vitesse décroît de 0,09 à 0,06 mm/jour en montrant des fluctuations. A partir de fin mai la vitesse de croissance augmente de nouveau et atteint son maximum vers le 20 juillet. Elle est maintenue à ce niveau jusqu'au 20 août. La vitesse de croissance en hauteur diminue pendant cette période et reprend au début de la troisième décade du mois d'août au même moment où la vitesse de croissance du tronc diminue. A partir du 20 septembre la croissance du tronc et celle de l'axe principal décroîent, mais, ne elles ne s'annulent pas durant la quiescence hivernale**.**

Ainsi, les modèles de croissance élaborés pour la hauteur, l'apex et le diamètre du tronc présentent des similitudes avec sept

périodes de croissance dont trois périodes de croissance active. Des variations sont cependant observées entre les différentes années.

7. Relation entre l'accroissement en hauteur et les conditions climatiques et hydriques

Afin d'observer de plus près l'impact des facteurs physiques sur la croissance de l'olivier, nous avons cherché à établir des relations entre sa croissance en hauteur et certains paramètres physiques notamment la température, l'évapotranspiration de référence et les apports hydriques. Les corrélations les plus significatives sont présentées dans ce qui suit.

7.1. Relation entre l'accroissement en hauteur et la température

La croissance en hauteur exprimée en termes d'accroissement (cm/jour) entre deux dates de mesures données a été mise en relation avec la température maximale (T_{max}) et minimale (T_{min}) moyenne correspondante à l'intervalle de mesures considéré en prenant en compte toutes les observations effectuées au cours des six campagnes de mesures. Les corrélations moyennes établies sont illustrées par les **figures 42 a et 42 b.**

L'analyse de ces figures montre une variation inter annuelle importante qui s'est traduite par l'absence de corrélation entre l'accroissement en hauteur et la température au cours des années 2001 et 2002 et la présence de corrélations positives hautement significatives en 2000 et en 2003 caractérisées par des valeurs de R^2 supérieures à 0,63 aussi bien pour T_{max} que pour T_{min}. Les relations établies pour les années 1998 et 1999 sont caractérisées par des valeurs de R^2 inférieures à 0,5.

Les **figures 42a et 42b** montrent que certaines observations s'écartent du nuage des points. Ces observations correspondent aux mesures effectuées au cours des vagues de croissance active. Lorsque les mesures faites au cours de ces périodes de croissance rapide sont écartées, la corrélation est nettement améliorée comme il apparaît dans les **figures 45a et 45b.** On remarque toutefois que les plus faibles valeurs de R^2 sont toujours celles des années 2001 et 2002.

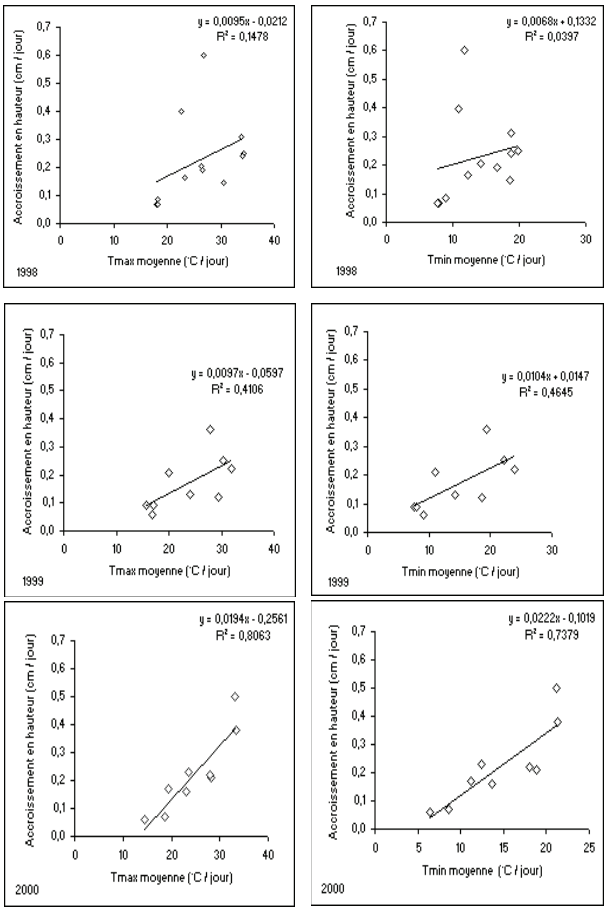


Figure 42 a. Relation entre l'accroissement moyen en hauteur (cm/jour) calculé entre les différentes dates de mesures et la température maximale (T_{max}) et minimale (T_{min}) moyenne (°C) correspondante à l'intervalle de mesures considéré. Le nombre de mesures effectué a été de 11 en 1998 et de 9 pour les deux années suivantes (1999 et 2000).

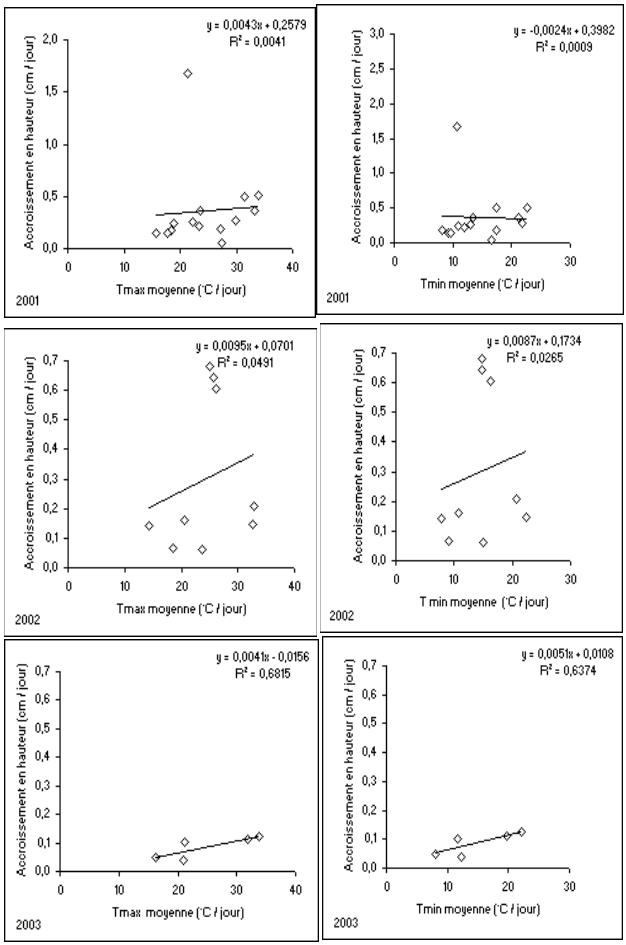


Figure 42 b. Relation entre l'accroissement moyen en hauteur (cm/jour) calculé entre les différentes dates de mesures et la température maximale (T_{max}) et minimale (T_{min}) moyenne (°C) correspondante à l'intervalle de mesures considéré. Le nombre de mesures effectué a été de 15 en 2001, 9 en 2002 et 5 en 2003.

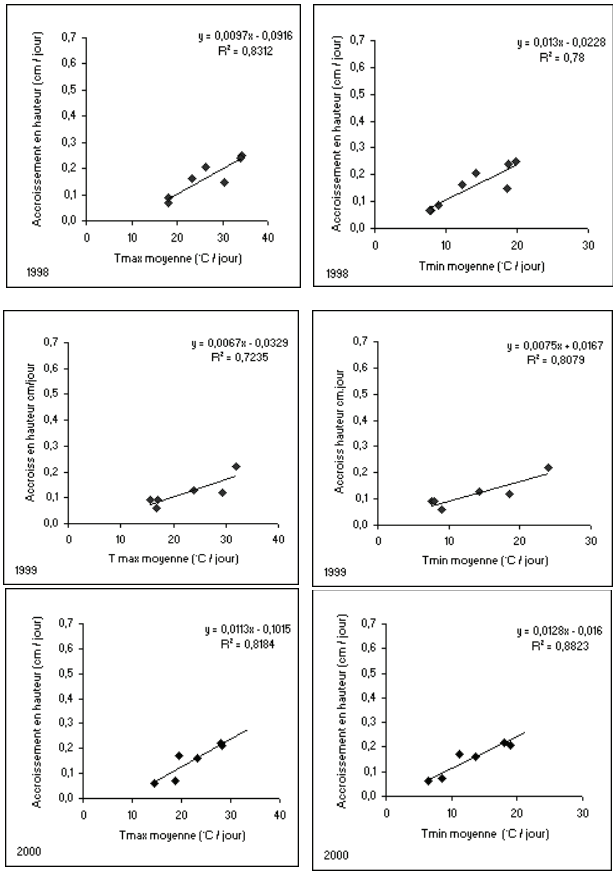


Figure 43 a. Relation entre l'accroissement moyen en hauteur (cm/jour) et la température maximale (T_{max}) et minimale (T_{min}) moyenne (°C) correspondante en dehors des périodes de croissance active pour les années 1998, 1999 et 2000.

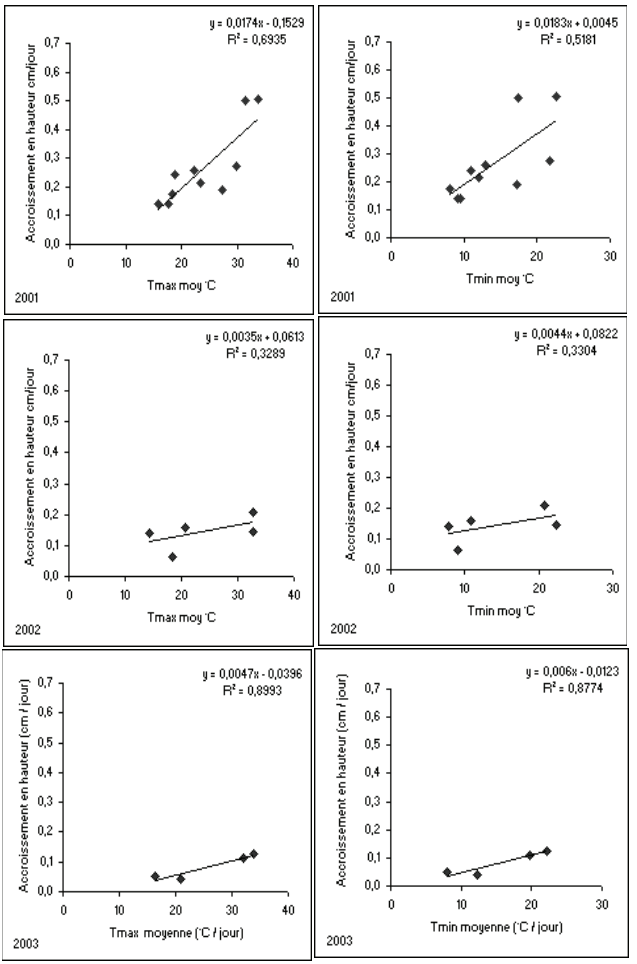


Figure 43 b : Relation entre l'accroissement moyen en hauteur (cm/jour) et la température maximale (T_{max}) et minimale (T_{min}) moyenne (°C) correspondante en dehors des périodes de croissance active pour les années 2000, 2001 et 2002.

Au niveau des variétés, des écarts sont observés. Les valeurs de R^2 déterminées à partir de relations établies en dehors des périodes de croissance actives sont rapportées dans le **Tableau 24**.

Tableau 24 Coefficients de détermination (R^2) résultant de la relation établie entre l'accroissement en hauteur et les températures maximales et minimales moyennes chez les quatre variétés au cours des six années de suivi.

	Manzanille		Chétoui		Meski		Picholine	
	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
1998	0,82	0,82	0,62	0,54	0,74	0,72	0,79	0,72
1999	0,81	0,80	0,85	0,89	0,26	0,39	0,54	0,66
2000	0,89	0,93	0,59	0,67	0,53	0,61	0,79	0,83
2001	0,71	0,59	0,19	0,18	0,71	0,58	0,52	0,26
2002	0,18	0,17	-	0,007	0,69	0,68	0,34	0,32
2003	0,88	0,83	0,70	0,64	0,92	0,92	0,65	0,68

De manière générale, l'accroissement en hauteur est hautement corrélé à la température, cependant quelques exceptions sont observées notamment pour les variétés Manzanille et Picholine en 2002, Chétoui en 2001 et 2002 et pour Meski en 1999.

7.2. Relation entre la croissance en hauteur et le niveau des apports hydriques

Les corrélations établies entre l'accroissement en hauteur et le rapport $P+I/ET_c$ ont montré que le niveau des apports hydriques affecte significativement la croissance en hauteur. Toutefois la réponse obtenue dépend de l'année et de la variété**.** L'accroissement en hauteur est maximal au cours de l'année 1998 pour une valeur optimale des apports de 0,38 ET_c pour Chétoui et de 0,11 pour Manzanille, Meski et Picholine. En 1999, l'optimum

est de 0,16 pour toutes les variétés. Lorsque le niveau des apports dépasse ces valeurs, l'accroissement est plus faible. Au cours de l'année 2000, les variétés Manzanille, Meski et Picholine ont donné le maximum d'accroissement pour un apport égal à 2,7 ET_c. L'accroissement maximal de la variété Chétoui est atteint pour une valeur de 4,7 ET_c. En 2001, les accroissements maxima correspondent à des valeurs des apports de 0,2 ET_c pour les variétés Manzanille, Meski et Picholine et de 2,2 ET_c pour Chétoui. En 2002, la valeur optimale des apports se situe à 2,8 ET_c pour les quatre variétés. En 2003 les valeurs optimales des apports hydriques sont de l'ordre de 4,8 ET_c pour les variétés Picholine et Meski et de 3,0 ET_c pour les variétés Manzanille et Chétoui. Ces relations ont été établies en considérant les observations réalisées en dehors des périodes de croissance active. Elles présentent des coefficients de détermination plus élevés que ceux produits en considérant toutes les observations réalisées chaque année.

DISCUSSION

L'étude a été réalisée durant la période 1998-2003 au Domaine expérimental de l'INAT à Mornag, situé à 15km environ au Sud de la capitale, Tunis, Tunisie dans le but de caractériser, quantifier et modéliser la croissance de l'olivier et son développement durant les premières années de culture en rapport avec l'alimentation en eau et les conditions environnementales. Les variétés Chétoui, Meski, Picholine et Manzanille qui ont fait l'objet de cette étude, sont communément cultivées dans les plantations intensives. Les oliviers ont été plantés à la densité de 278 pieds/ha et traités de la même manière pendant les six premières années de culture. Ils ont été formés dès la 3ème année sur un tronc unique avec une canopée en forme de gobelet.

La période d'étude a été caractérisée par des conditions climatiques variables tendant vers la sécheresse. Durant la période 1999-2002, les précipitations (327-440 mm/an) ont été inférieures à la moyenne de la région (450 mm/an). L'année 2003 a été pluvieuse (790 mm). Nous avons enregistré durant la même période des variations de la température allant de -2 à +7% pour les maxima et de - 4 à +14% pour les minima par rapport à la moyenne de la période 1979-2003. Les valeurs maximales ont caractérisé l'année 2001 et engendré une augmentation de la somme des degrés – jours (GDD) de 300 d°j pendant le premier trimestre de l'année par rapport à l'année 1998. Les valeurs annuelles de l'évapotranspiration de référence (ET_o) ont varié de 1212 à 1320 mm avec un maximum de 200 mm. Le déficit climatique moyen a varié de 955 mm à 422 mm selon l'année.

Compte tenu de ces conditions climatiques, une irrigation complémentaire a été pratiquée tous les ans sur une période de six

mois, démarrant plus ou moins précocement selon les conditions de l'hiver. Les quantités d'eau délivrées ont varié de 720 à 5449 litres/olivier/an. L'eau a été appliquée au cours des deux premières années en utilisant des cuvettes confectionnées à l'aplomb de la frondaison, des rigoles au cours des deux années suivantes et au moyen du goutte à goutte à partir de l'année 2002 en utilisant un débit nominal de 16 litres/heure/ arbre.

Sous ces conditions la dynamique de croissance des 4 variétés a été étudiée. Les mesures ont concerné la hauteur de l'olivier, la longueur de la pousse terminale, la circonférence maximale de la frondaison et le diamètre maximal du tronc. La production d'olives et de bois de taille et le diamètre des olives ont été suivis à partir de l'année 2000. La croissance des rameaux fructifères (longueur, nombre de feuilles et diamètre basal) a été paramétrée au cours de l'année 2003. L'étude du système radiculaire a été réalisée sur des arbres âgés de 1 à 6 ans en considérant la méthode de la tranchée avec détermination simultanée de la densité radiculaire.

L'analyse de la croissance des jeunes oliviers a été abordée sur l'ensemble de la période expérimentale, puis en analysant la dynamique de la croissance des jeunes oliviers à l'échelle du cycle annuel, mettant en exergue les différentes périodes de croissance. Les variations inter et intra annuelles et inter variétales ont été investiguées dans les deux cas en relation avec la température, la demande climatique et l'eau.

La caractérisation de la dynamique de la croissance de l'olivier a été réalisée en considérant l'arbre en tant qu'unité intégrée dans l'ensemble du système sol – plante – climat en vue de lier la croissance des jeunes arbres à la consommation en eau et à l'effet de la demande climatique. Mais comme il s'agit de jeunes oliviers qui ne couvrent que partiellement le sol et qui sont caractérisés par une répartition hétérogène du système radiculaire,

nous avons combiné trois approches. L'approche climatique a été adoptée pour déterminer l'évapotranspiration du verger en considérant la méthode de la FAO. L'approche hydrologique a été utilisée pour étudier la dynamique de l'eau autour de l'olivier en considérant différents compartiments du sol en raison de l'hétérogénéité du système. L'approche physiologique a été utilisée pour déterminer la transpiration de l'arbre pris comme individu à partir de la mesure du flux de la sève brute en considérant la méthode de Granier (1987) modifiée par Do et Rocheteau (2002).

Les premières mesures de croisance ont démarré deux semaines après la plantation (mars 1998) sur de jeunes boutures de 46 cm en moyenne. La hauteur de l'olivier, la longueur de la pousse terminale et le diamètre du tronc ont été mesurés le même jour à différentes dates de l'année. La circonférence de la frondaison a été paramétrée au mois de février et au mois de septembre. Durant les années de taille, la mesure de la frondaison a été réalisée avant et après la coupe en vue d'estimer la variation du volume de la canopée. Pour chaque paramètre mesuré nous avons tracé son évolution en fonction du temps pour les six années de suivis et analysé ses variations.

Les résultats ont montré que comme tout processus physiologique, la hauteur de l'arbre, la pousse terminale, la circonférence de la frondaison et le diamètre du tronc évoluent en suivant une courbe en S caractérisée par 3 phases de croissance plus ou moins distinctes avec une première phase ralentie qui dure deux années suivie d'une phase à croissance rapide d'une durée de deux à trois ans et d'une troisième phase à croissance décélérée qui semble démarrer à partir de la cinquième année d'âge. Ce résultat caractérise les espèces ligneuses de manière générale et fruitières en particulier. Selon Bongi et Palliotti (1994) la vitesse relative de croissance de l'arbre est importante au cours des premières années d'âge du fait que toutes les parties de la plante se développent

rapidement, donnant un rapport C/N faible (Gucci et Cantini, 2000). Mais à fur et à mesure que l'olivier se développe, la vitesse de croissance relative diminue en raison de l'entrée en production et de l'établissement de la compétition nutritive entre la croissance végétative et l'activité fructifère, marquant le passage du stade de jeunesse au stade de production qui semble se situer dans notre cas entre la 4^{ième} et la 5^{ième} année après la plantation. A partir de ce moment et du fait que l'olivier porte sa production sur les pousses âgées d'un an ou plus, le maintien de l'équilibre entre la croissance végétative et la production (C/N) est nécessaire. Cet équilibre est influencé par plusieurs facteurs dont le niveau de production, les pratiques horticoles et les conditions de culture.

Au cours de cette période, la taille de formation a été pratiquée en vue de construire l'ossature de l'olivier et d'adapter sa forme et sa vigueur à la densité de plantation. L'élaguage de la base du tronc a été fait dès la première année de culture en supprimant les rejets et les ramifications qui s'y sont développées. L'année suivante un nombre important de pousses s'est développé, résultant du départ en végétation de nombreux bourgeons latents. Certaines parmi ces pousses ont été choisies pour former la structure de l'arbre. La taille de formation a été réalisée effectivement à partir de l'année 2000 durant trois années consécutives. Pour le besoin de l'expérimentation, l'axe principal n'a pas été modifié durant les six années de l'essai. A chaque intervention, l'olivier a tenté de rétablir son équilibre au cours des saisons suivantes et de produire une croissance annuelle plus ou moins élevée.

La réponse de l'olivier aux élaguages successifs et à la taille sévère pratiquée au cours du printemps 2000 (réduction de la taille de la canopée de 48% en moyenne) s'est traduite par une croissance importante au cours de l'été et de l'automne de la même année mais également au cours du printemps suivant (2001)

engendrant l'augmentation de la biomasse végétale qui a été favorable à l'obtention d'une production élevée en 2002. A l'échelle de l'année, la réponse de l'olivier s'est traduite par des valeurs maximales de l'accroissement en 2001 pour la hauteur, la pousse terminale et le diamètre du tronc et en 2002 pour le diamètre de la frondaison, soit une année après le pic de croissance en hauteur avec toutefois une augmentation de l'accroissement du tronc en 2003 alors que les accroissements en hauteur et de la frondaison ont été plus faibles par rapport à l'année précédente. La taille a constitué de ce fait un facteur déterminant qui a modifié le volume de l'arbre, le taux de couverture du sol par la biomasse végétale et le rapport C/N conduisant à des modèles graphiques différents avec un maximum de croissance observé à la $4^{ème}$ année de culture pour la pousse terminale, la hauteur et le tronc et à la $5^{ième}$ année pour le diamètre de la frondaison.

Mais en dépit de ces différences, des corrélations positives et significatives ont été avec des valeurs du coefficient de corrélation r variant de 0,68 à 0,99. De même, nous avons observé que la masse de bois de taille supprimée après la coupe au cours de l'année n est hautement corrélée (r = 0,87) à l'accroissement de la frondaison observé au cours de l'année précédente et à la production de la même année (r = 0,76). Ce résultat montre que la taille est un facteur déterminant du rendement et appuie les résultats de Proeitti et Tombesi, (1996). Une taille appropriée augmente significativement le nombre de sites potentiels de différenciation des bourgeons floraux à travers un allongement plus important des pousses alors que le maintien d'une frondaison excessivement dense donne, pour un volume de frondaison déterminé une surface de fructification plus faible. Selon Connor et Ferreres (2005) la taille modifie l'indice foliaire. Il augmente en adoptant des formes excurrentes et engendre une augmentation du rendement. Nous avons observé de même que le rendement en

olives de l'année n est positivement corrélé à l'accroissement du diamètre de la frondaison obtenu au cours de l'année précédente avec un coefficient de corrélation de 0,45. Cette relation est nettement améliorée (r = 0,61) lorsque les rendements de la variété Meski sont écartés, ce qui implique que l'aspect variétal est également un facteur de variation important dans la détermination des rendements.

Ainsi, après trois années d'intervention (2000-2002), la taille de formation nous a permis de construire des arbres vigoureux formés sur un tronc unique et 3 ou 4 branches charpentières avec une ramification régulièrement répartie constituant une frondaison en forme de gobelet avec un axe principal différé. Cette structure, associée à un système radiculaire fasciculé déjà formé au moment de la plantation, a permis une entrée en production précoce des variétés Chétoui, Picholine et Manzanille qui a été observée dès la 2ème année de culture avec l'obtention de rendements élevés dès la 5ième année. Cependant, la pratique de la taille n'a pu expliquer qu'en partie la variation de la dynamique de croissance et de production qui a été observée en particulier au cours des années 2001, 2002 et 2003. Selon les études réalisées antérieurement notamment celles de Connor et Fereres (2005), Poli (1979) et Proietti et Tombesi, (1996) la croissance végétative chez l'olivier est aussi contrôlée par l'effet de la dominance apicale qu'exerce le bourgeon terminal sur ses axillaires, la charge en fleurs et en fruits de l'année pendante et précédente qui régule le rapport de l'offre / demande en assimilats (Proietti et Tombesi, 1996) mais surtout de la température lorsque l'eau n'est pas un facteur limitant (Fernandez et Moreno, 1999), en particulier la production de nœuds, l'expansion des feuilles et l'épaississement des rameaux dépendent étroitement de la température, de l'eau et de la radiation solaire. L'interaction complexe entre les facteurs endogènes et

exogènes nous ont conduit à une réponse physiologique différente d'une année à l'autre.

Afin de mieux comprendre cette dynamique de croissance et les relations qui existent entre les différentes parties en développement, la cinétique de croissance des jeunes arbres a été quantifiée et analysée à l'échelle du cycle annuel et son interaction avec les facteurs environnementaux en considérant l'aspect variétal comme un facteur de variation. Pour chaque paramètre mesuré, un modèle phénologique type a été élaboré qui décrit et quantifie la croissance moyenne de l'arbre au cours du cycle annuel. Le modèle exprime la vitesse de croissance en fonction du temps. Nous avons considéré le modèle de la croissance en hauteur comme étant le modèle de base par rapport auquel nous avons comparé les autres modèles.

L'analyse du modèle phénologique global de la croissance en hauteur a montré 7 périodes phénologiques au cours du cycle annuel caractérisées par des vitesses variables selon l'année et le cultivar et parmi lesquelles nous avons identifié trois périodes de croissance rapide qui se sont produites au printemps, en été et en automne. Ces périodes sont appelées communément « vagues de croissance » (Boulouha, 1986 ; Loussert et Brousse, 1978 ; Rallo, 1998 ; Pansiot et Rebour, 1966). Selon Boulouha (1986) et Rallo (1998) l'occurrence d'une ou de plusieurs vagues de croissance dépend de la région climatique, de la variété et des conditions de culture. En zone tempérée ces auteurs rapportent une seule vague de croissance chez la Picholine Marocaine et deux vagues sous des conditions d'alimentation hydrique moins favorables. La vague de croissance estivale a été rarement rapportée. Quant à l'importance de ces vagues, Bignanmi et al., (1993) montrent que la vague de croissance du printemps est la plus importante et produit plus de 50% de la croissance annuelle, mais elle n'est quantifiée que dans des études comparatives de comportement variétaux à une facteur

donné. Dans notre cas, la croissance printanière (avril) est plus importante que les croissances obserées en été (juillet) ou en automnale (septembre), corroborant les travaux antérieurs. Cependant, ces 7 périodes de croissance ainsi que les 3 périodes de croissance rapide ne sont pas observées tous les ans. De même, les vitesses maximales, qui varient de 1,67 (2001) à 0,13 cm / jour (2003) et matérialisant le pic des vagues de croissance, n'ont pas été toujours enregistrées au cours du printemps. La croissance maximale de l'année 1999 a été observée en automne.

Les vagues de croissance sont séparées par des périodes de ralentissement et couvrent différents processus physiologiques entre le début et la fin du cycle annuel. Au démarrage du cycle, la croissance en hauteur se produit avec une vitesse variant de 0,05 à 0,11 cm/jour selon l'année et la variété caractérisant la première période de croissance (Période 1) qui se poursuit jusqu'à fin mars. Selon Rallo et al., (1994), le développement des bourgeons végétatifs au cours de cette période est sous l'influence de la température et se produit pour un optimum de 13,8°C. Cependant, nous avons observé des différences entre les variétés notamment en 2000 et en 2001. La croissance minimale a été enregistrée en 2000 pour les cultivars Chétoui et Picholine et en 2001 pour Meski et Manzanille. Cette différence de comportement nous laisse penser que ces variétés auraient des exigences thermiques différentes comme il a été signalé par Rallo et al., (1994) selon lesquels, la croissance chez l'olivier au début de l'année est contrôlée par la température et que la sensibilité de l'espèce *Olea europaea* à la température est étroitement liée à la variété de manière à ce que chaque cultivar peut avoir des besoins spécifiques représentés par un optimum thermique ou / et une somme de degrès-jours.

Au cours du premier semestre des années 2000, 2001 et 2002 une somme de degrès-jours calculée sur la base de 12,5°C, et égale à 118, 268 et 206 d°j respectivement a été enregistrée avec une

température moyenne de 13,0°C en 2000, 15,2 °C en 2001 et 14,4°C en 2002. Ces variations expliqueraient le démarrage tardif de la croissance en hauteur au cours de l'année 2000 (Avril) mais également les faibles vitesses de croissance observées pour Picholine et Chétoui en 2000 et pour Manzanille et Meski en 2001. Les températures enregistrées au début de l'année 2000 auraient été insuffisantes pour assurer une bonne croissance de démarrage chez les cultivars Chétoui et Picholine alors que celles de 2001 auraient été trop élevées pour les cultivars Meski et Manzanille. Une somme de degrès-jours de l'ordre de 200 d°j accumulée durant les trois premiers mois de l'année associée à une température moyenne de 14,4°C entre janvier et mars paraissent favorables au développement des 4 variétés durant la 'période 1' de croissance.

La différence de comportement entre les quatre variétés au cours de la 'période 1' pourrait résulter également de l'effet de la compétition trophique puisque la première production « effective » a été obtenue en 2000 pour Picholine et Chétoui et en 2001 pour Manzanille et Meski et que les olives récoltées à la fin du cycle annuel résultent du développement des fleurs différenciées en début d'année au moment du démarrage de la croissance de la nouvelle pousse. La différenciation de ces fleurs matérialisée par la constitution et la croissance des pièces florales en moins de deux mois aboutit à la formation de milliers de fleurs par arbre ce qui implique une activité cellulaire intense qui engendre une mobilisation importante des métabolites (Poli, 1979). Au même moment, les bourgeons végétatifs apicaux qui sont à l'origine de la pousse de l'année constituent aussi à ce stade un pôle d'attraction actif puisqu'ils sont le siège de division cellulaire importante. Ces deux pôles vont entrer en compétition et s'accuser. Les flux trophiques seront orientés vers le pôle qui a la force d'attraction la plus élevée, c'est ce qui nous permet d'expliquer le comportement différent de ces 4 variétés.

La croissance végétative démarre visiblement à partir de la dernière semaine de mars entammant la deuxième période de croissance au cours de laquelle l'olivier se développe rapidement et atteint une vitesse moyenne maximale de 1,67 cm/jour vers la mi avril. Ce maximum représente à la fois le pic de croissance de « la vague printanière » qui dure de 10 à 15 jours et le pic du cycle annuel. Selon Boulouha (1986), Fernandez et Moreno (1999) et Villemur et Delmas (1978), « la vague de croissance printanière » assure la croissance la plus importante de l'année alors que Bignami et al., (1993) montrent que plus de 50% de la croissance des pousses en année plus et 80% en année moins ont lieu en période de préfloraison. Dans nos conditions, la croissance hiverno-printanière a représenté près de 50% de la croissance annuelle avec une variabilité interannuelle qui résulte selon Cimato et al., (1990) de l'effet de la température. Au cours de cette période de démarrage de la floraison (début avril), les températures habituelles de la saison et qui sont de l'ordre de 16-18°C stimulent l'allongement des rameaux qui se fait selon Bignami et al., (1993) proportionnellement à la température moyenne mensuelle. Cependant, la présence d'une charge élevée en fleurs peut malgré les températures favorables freiner la croissance des pousses et réduire la longueur des entre-nœuds sous l'effet de la compétition trophique comme il l'a été signalé par Cimato et Fiorino (1986), Jardak (1994) et Proietti et Tombesi (1996). Nos variétés ont présenté un comportement différent particulièrement en 1999.

En 1999, la croissance en hauteur a été plus faible que celle de l'année écoulée en raison de l'entrée en fructification des variétés Chétoui, Manzanille et Picholine. Les cultivars Picholine et Meski ont montré trois vagues de croissance, matérialisées par des vitesses importantes alors que les variétés Chétoui et Manzanille ont présenté une croissance plus faible mais régulière de fin mars jusqu'à la fin de l'été. En automne, l'olivier s'est développé chez

les quatre cultivars avec une vitesse plus élevée que celle du printemps. Au cours de l'année 2000, la pousse de l'année a démarré tardivement, au début du mois d'avril, chez les quatre variétés alors que les premières fleurs ont déjà ouvert. Quelques jours plus tard, une floraison abondante a été observée, favorisée par des conditions hivernales favorables. L'hiver 1999-2000 a été plus frais que celui des années 2001 et 2002 avec une température moyenne de 7,8°C et une valeur de GDD de 470d°j calculée sur la base de 7d°j. Ces conditions ont favorisé l'initiation d'un nombre élevé de fleurs qui se sont épanouies durant la deuxième quizaine d'avril en réponse à la hausse des températures. Mais pour déclencher la floraison, Alcala et Barranco (1992)-cité par Connor et Fereres (2005) indiquent qu'il est nécessaire d'accumuler une certaine somme de degrès au cours des trois premiers mois de l'année, calculée sur la base d'une température de 12,5°C. Dans le cas de l'année 2000 nous avons accumulé 118 d°j entre début janvier et fin mars (contre 268 d°j en 2001 et 206 d°j en 2002). Cette somme a été à l'origine de l'épanouissement d'un grand nombre de fleurs particulièrement chez l'olivier Chétoui, mais peu de temps après, les fleurs ont chuté massivement ce qui a réduit considérablement la charge de l'arbre et a aboutit à une production plutôt faible. Ceci résulterait de la hausse des températures qui a été enregistrée au cours de la pleine floraison et de la nouaison de l'année 2000. Selon Connor and Fereres (2005) un régime thermique de 2-4°C et 15-19°C respectivement pour les minima et les maxima est optimal pour la floraison et la nouaison. Des valeurs plus élevées provoqueraient la coulure des fleurs. Dans nos conditions, les températures moyennes enregistrées en période de floraison-nouaison ont été de 14,2 et 24,8 °C respectivement et donc bien supérieures à l'optimum.

La faible nouaison observée au cours de l'année 2000 pourrait également résulter d'une faible disponibilité des

nutriments engendrée par la suppression d'une quantité importante de bois de taille. Les coupes sévères pratiquées au moment de la taille de formation ont réduit la quantité de réserves nutritives emmagazinées dans le bois provoquant un déséquilibre au niveau de la frondaison au moment même ou les fleurs s'épanouissaient. Cette chute, accélérée par les températures élevées du printemps s'est répercutée négativement sur la nouaison des fruits mais aussi sur la croissance végétative chez les variétés Chétoui, Manzanille et Picholine au cours des semaines qui ont suivi la floraison. L'olivier Meski a concervé par contre une vitesse de croissance plus élevée qui résulte de l'absence de fleurs et donc de compétition pour les nutriements. L'éclaircissage des olives de table est recommandé à la fin de cette période critique de floraison-nouaison dans le but de réduire l'effet de la compétition et de garantir une bonne qualité des fruits à la récolte en mettant à leur disposition une plus grande quantité de nutriments. Selon Fernandez et Moreno (1999) et Lavee (1997), 1 à 2% de fruits noués en année de forte charge en fleurs suffit pour avoir un bon rendement. Ce taux dépend toutefois de la variété, de la production précédente et surtout de la température (Lavee, 1997). Selon Cimato et Fiorino (1986) et Proietti et Tombesi (1996) la croissance des fruits interfère avec les bourgeons voisins et les pousses en croissance et peuvent ralentir leur évolution.

Les oliviers entamment après cette période la croissance estivale qui a été caractérisée par des vitesses plus faibles que celle du printemps et des différences variétales peu perceptibles. Les vitesses maximales ont été observées vers la mi-juillet, généralement chez la variété Chétoui. Au cours des années 2001 et 2002 de faibles différences ont été observées entre les quatre variétés qui n'ont présenté qu'une seule vague de croissance printanière, importante; après quoi les vitesses ont diminué considérablement comme si l'olivier avait exprimé au

cours du printemps son potentiel maximum. En 2002 les vitesses ont été plus faibles mais les quatre variétés ont présenté la même dynamique de croissance avec un développement estival faible et absent en automne. Au cours de l'année 2003 l'axe principal a présenté une faible croissance qui résulte de l'augmentation de la température au delà de 35°C entre le 13 juin et fin août mais également de l'effet de la compétition nutritive engendrée par le développement des fruits. Les cultivars Chétoui et Manzanille ont présenté la même dynamique de croissance alors que le variété Picholine a eu une faible croissance entre mars et juillet probablement en raison de sa charge plus importante en olives. La reprise de l'irrigation au mois de juillet 2003 de façon régulière a permis de stimuler la croissance des variétés Meski et Picholine et de maintenir au même niveau celle des variétés Chétoui et Manzanille jusqu'à début octobre.

Au cours de la période estivale, la croissance en hauteur ralentit mais elle ne s'annule pas. Son ralentissement après la vague de croissance printanière coïncide avec le développement rapide des olives dont l'influence compétitive prend de plus en plus d'importance, en particulier au cours du stade de durcissement des noyaux des olives qui est considéré comme étant le premier stade critique de croissance du fruit au cours duquel la vitesse de croissance de l'olive diminue également mais sans s'annuler, contrairement à ce qui est communément rapporté. Ce résultat corrobore celui de Inglese et al., (1996) qui ont rapporté une croissance du fruit en période de durcissement des noyaux. A la fin de cette période un petit pic de croissance de l'axe principal peut être observé qui marquerait la fin du processus de sclérification, mais il peut arriver que le faible rythme de croissance se poursuive jusqu'à fin août. Pendant cette période de forte demande climatique, se produit l'induction florale, au cours de laquelle nous avons observé un ralentissement de la croissance végétative et du

fruit. Ce ralentissement résulte non seulement de l'effet de la compétition entre les nouveaux bourgeons en induction et les fruits en croissance mais également du déclenchement du processus de synthèse des lipides qui selon Connor et Fereres (2005) démarre en été au moment du durcissement des noyaux et se poursuit jusqu'en automne, montrant la complexité du processus de fructification chez l'olivier. A la fin de l'été, alors que ces processus se poursuivent, la croissance en hauteur et celle de la pousse terminale entamment la phase automnale (Période 6), dans quel cas, celle-ci présenterait un maximum vers la mi-septembre. La présence et l'importance de cette croissance dépendent selon Abdel-Rhahmane et Sharkawi (1974) de la disponibilité de l'eau et de la charge en olives. A partir de la mi-octobre, la couleur des fruits vire au violet. Les olives Meski et Manzanille sont récoltées en premier puis les olives Chétoui et enfin la Picholine en dernier. L'olivier entre en période de quiescence qui a lieu entre novembre et début janvier (Période 7). La vitesse de croissance y est ralentie mais non nulle.

La dynamique de croissance de l'olive observée au cours des quatre années de suivi diffère de ce qui est communément rapporté. Selon Hartmann, (1953) la croissance de l'olive se fait en exhibant une double sigmoide avec un arrêt de la croissance durant la phase de durcissement des noyaux. Cette dynamique caractérise la croissance du fruit dans les plantations pluviales en raison du déficit hydrique observé en été et qui est souvent associé à une température élevée. Sous irrigation, Connor et Fereres (2005) rapportent un modèle de croissance différent selon lequel l'olive se développe de manière continue depuis la nouaison jusquà la récolte en marquant deux phases de croissance caractérisées par des vitesses différentes. Après la nouaison, l'olive croit linéairement et rapidement pendant quelques semaines. Sa croissance ralenti lorsque le processus de synthèse des lipides est engagé du fait de l'augmentation du contenu energétique de la matière sèche en

même temps que se sclérifient les endocarpes. Nos résultats ont montré que la croissance de l'olive dans les conditions de Mornag s'est produite selon le modèle de croissance rapporté par Connor et Fereres (2005) et que la croissance se poursuit même en été au cours de la période de durcissement des noyaux. Toutefois, nous avons observé des différences au niveau de la longueur de la phase linéaire et de la longueur de la période de durcissement des noyaux. Selon Blumenfield (1980) ces variations résultent de l'effet de la température qui allonge ou raccourcit la durée des phases de croissance mais elle ne modifie pas l'allure générale de la courbe. Elle régule également la chute estivale des olives. Ses effets sont particulièrement néfastes lorsque des changements importants et / ou brusques se produisent pendant les phases cruciales de durcissement des noyaux des olives et de synthèse des lipides. Nous avons constaté en effet lors du suivi de la synthèse de l'huile au cours de l'année 2003 d'octobre à décembre une évolution des taux d'huile assez inhabituelle caractérisée par des valeurs très faibles maintenues jusqu'à début décembre, ensuite, les taux ont augmenté rapidement pour atteindre 15 et 16% chez les variétés Chétoui et Picholine. Cette évolution est liée aux conditions particulières vécues en 2003, caractérisées par un automne exceptionnellement pluvieux et chaud. Les températures ont dépassé durant les mois de septembre, octobre et novembre les moyennes habituelles. Ce n'est qu'à partir de fin novembre que la température a baissé rejoignant les moyennes saisonnières.

La croissance de l'olivier a été sujette au cours de la période d'expérimentation à d'importantes variations qui se sont traduites par des accroissements plus ou moins importants selon la saison et les conditions de l'année. La recherche de corrélations entre les paramètres de croissance et certains paramètres climatiques notamment la température et la demande climatique d'une part et le niveau de satisfaction des besoins en eau d'autre part a conduit à

des relations dont le degré de signification dépend largement de la période de l'année considérée. De faibles coefficients de corrélations ont été trouvés lorsque toutes les observations effectuées au cours du cycle de croissance sont prises en compte y compris les mesures effectuées au cours des périodes de croissance rapide. Cependant lorsque ces dernières ne sont pas prises en compte et que les corrélations sont établies en considérant uniquement les mesures faites en dehors de ces périodes, les corrélations entre l'accroissement en hauteur et la demande climatique (ET_o) en particulier sont nettement améliorées ($r = 0,9$). Ces résultats montrent que la croissance en hauteur est fortement influencée par les températures maximales, minimales et l'évapotranspiration de référence ainsi que le niveau des apports hydriques et concordent bien avec ceux de Bignami et al., (1993) et Cimato et al., (1990) qui ont rapporté des corrélations hautement significatives entre la croissance végétative et la température. Ils corroborent aussi les résultats trouvés par Boulouha (1986) et Proietti et Tombesi (1996) qui rapportent l'existence d'un contrôle endogène complexe au niveau des processus impliqués dans la croissance au cours des 'vagues de croissance'. Cependant, ces facteurs n'ont pas affecté les quatre variétés de la même manière. La variété Manzanille a présenté généralement les coefficients les plus élevés. De même, nous avons observé en 1999 de faibles valeurs du coefficient de détermination R^2 même en dehors des périodes de croissance rapide, qui résulteraient de l'effet de l'entrée en production des variétés Chétoui, Manzanille et Picholine.

La température agit donc par ses valeurs extrêmes dont les effets dépendent du stade phénologique et de la disponibilité de l'eau. Au cours de la période 1999-2002, la température a varié en moyenne de -2% à 7% pour les maxima et de 7 à 14% pour les minima par rapport à la période 1979-2003 alors que les précipitations annuelles ont été en deçà des moyennes de la région

(327 à 440 mm). La hausse maximale de la température a été observée en 2001, engendrant une augmentation de la GDD d'environ 300°j au cours du premier trimestre de l'année par rapport à l'année 1998 avec une pluviométrie annuelle minimum de 327 mm dont 127 mm ont été enregistrés au cours des 3 premiers mois de l'année : c'est-à-dire pendant la période qui a précédé la croissance printanière rapide (260 mm de pluie entre septembre 2000 et fin mars 2001). Compte tenu de ces conditions nous n'avons démarré l'irrigation qu'au début du mois d'avril. Celle-ci a duré seulement quelques jours afin de ne pas perturber le processus de floraison qui serait selon Connor et Fereres, (2005) stimulé par les stress hydriques légers qui peuvent se produire à la fin de l'hiver. Cet apport de l'eau au début de la phase accélérée de la croissance printanière de l'année 2001 a favorisé l'allongement de l'axe principal d'autant plus que les températures étaient favorables à une bonne croissance. En 2002 une quantité de pluie annuelle équivalente a été enregistrée (345 mm) mais avec un premier semestre moins arrosé (100 mm de pluie de janvier à fin juin) et une hausse relative moyenne de la température de 14% et 7% respectivement pour les minima et les maxima. Compte tenu de ces conditions et de celles qui ont sévit durant l'automne et l'hiver 2001 et en raison du manque de pluie au cours des premiers mois de l'année 2002, nous avons déclenché l'irrigation dès la deuxième décade du mois de mars, environ 10 jours avant le démarrage de la croissance printanière. L'apport de l'eau par l'irrigation et l'arrivée des pluies au cours des mois d'avril et de mai 2002 ont stimulé la croissance en hauteur chez tous les cultivars mais surtout le développement diamétral de la frondaison. L'année 2003 a été bien arrosée avec une pluviométrie annuelle de 790 mm dont 263 mm ont été enregistrés durant le premier trimestre, réalisant pour la même période une augmentation relative moyenne de 40 à 50% par rapport aux deux années précédentes. De ce fait l'irrigation n'a été

déclenchée qu'au mois de mai et s'est poursuivie durant l'été, qui a été particulièrement chaud avec 27 jours de sirocco au cours desquels la température a varié de 36 à 46°C, dépassant ainsi les valeurs limités tolérées par l'olivier que ce soit pour la croissance ou la photosynthèse (35°C). Ces températures ont contribué au ralentissement de la croissance de l'axe principal chez les quatre variétés n'assurant que 30 cm d'élongation malgré les apports fréquents de l'eau entre fin juin et mi-août 2003. L'arrivée précoce des pluies d'automne a favorisé un nouvel allongement de cet axe d'autant plus que les températures sont restées élevées jusqu'à fin novembre et supérieures à la moyenne de la saison. Cependant, malgré ces conditions nous avons enregistré en 2003 une faible croissance en hauteur qui résulte du niveau de production élevé observé pour la deuxième année consécutive. Poli (1979) et Proietti et Tombesi (1996) expliquent le ralentissement de la croissance observé au cours de la période de développement des fruits par la compétition trophique qui se produit entre les structures en croissance rapide. Les fruits verts représentent après la nouaison les puits les plus puissants et drainent une grande partie des nutriments. Ils s'alimentent préférentiellement à partir des pousses – mères, mais peuvent ralentir et même inhiber l'allongement des rameaux qui les portent et parfois de rameaux plus éloignés dans le cas d'une forte charge en olives. Les rendements obtenus au cours des années 2002 et 2003 ont été respectivement de 2,3 et 3,0 tonnes / ha pour la variété Picholine, 3,1 et 2,1 tonnes / ha pour la Chétoui et 2,5 et 2,3 tonnes / ha pour la variété Manzanille avec une régularité de la production chez cette dernière. La variété Meski a produit 0,5 et 0,3 tonne d'olives respectivement en 2002 et en 2003. Sa faible productivité résulte de son auto - incompatibilité partielle rendant aléatoire l'étape cruciale de la pollinisation malgré la présence de cultivars pollinisateurs. Cette étape est en fait beaucoup plus complexe du fait de l'existence de mécanismes de

reconaissance - acceptance - refus entre l'embryon et les gamètes mâles.

Cependant, si cette compétition explique le ralentissement de la croissance de l'axe principal au cours des années 2002 et 2003, avec un accroissement annuel de la pousse de 19 et 21 cm seulement -soit une réduction de plus de 60% par rapport aux années 2001 et 2002-, il n'en n'était pas le cas pour le développement de la frondaison, dont l'accroissement diamétral a été de 89 cm en 2002 et de 75 cm en 2003. Ce développement important résulterait de la disponibilité des réserves nutritives qui ont été produites au cours de l'année 2001. Le développement important de l'arbre observé en 2001 a engendré une augmentation de la surface foliaire et la multiplication des sites potentiels de fructification, favorisant un niveau de production élevé au cours des deux années suivantes, passant de 1,7 kg / olivier en 2001 à 7,5 kg / olivier en 2002 (Masmoudi-Charfi et al, 2005). On pourrait également penser que la suppression d'une masse de bois importante au cours de la taille de formation de 2000, constituée essentiellement par des rameaux anticipés et donc d'un certain nombre d'apex en croissance, aurait stimulé le développement latéral de la frondaison suite à une levée de la dominance apicale qu'exerçaient ces rameaux sur les bourgeons axillaires. Ces derniers seraient différenciés mais demeurant quiescents, vont partir en végétation dès que les conditions deviennent favorables, comme l'a signalé Poli (1979). Le développement latéral de la frondaison se serait également fait au dépends du développement d'autres parties de l'arbre comme le tronc et les racines.

Les mesures de croissance effectuées au niveau du diamètre basal du tronc ont montré un faible accroissement annuel en 2002 (18,5 mm) qui résulterait d'une mobilisation importante des réserves en vue de subvenir aux besoins de la croissance de la frondaison et des fruits. Comme l'année 2002 a été caractérisée à la

fois par une croissance en hauteur importante concentrée au printemps -donc précédant celle du tronc- et une charge élevée en fruits, les réserves de l'arbre n'auraient pas suffits pour assurer aussi une bonne croissance du tronc, d'autant plus que la quantité de bois supprimée au moment de la taille a été importante, retirant une grande partie des réserves de l'arbre. Les travaux de Moriana et al., (2003) ont montré que la croissance du tronc est affectée par la charge en fruits. En année de forte charge en fruits, le diamètre du tronc croit rapidement au début de la saison en raison de la disponibilité des assimilats mais sa vitesse ralentit en été et en automne à cause de la compétition nutritive qui augmente (Connor et Fereres, 2005). En 2003 nous avons observé un développement important des diamètres de la frondaison (85 cm) et du tronc (28,8 mm) avec une charge équivalente en fruits malgré la suppression d'une quantité de bois frais plus importante (10 à 16 kg selon la variété). Un tel développement nécessiterait un prélèvement important de nutriments et ne peut être assuré qu'à travers un système radiculaire bien développé et particulièrement fourni en racines de faible diamètre qui selon Fernandez et Moreno (1999) sont responsables de l'alimentation minérale et hydrique de l'olivier.

Le développement radiculaire a été étudié sur des arbres âgés de 1 à 6 ans à partir de profils pédologiques. Les résultats obtenus ont montré que les racines se développent plus ou moins parallèlement à la surface du sol avec une inclinaison qui varie de 30 à 60° selon l'épaisseur de la racine. Les racines de grand diamètre se développent presque horizontalement alors que les racines fines et qui sont beaucoup plus nombreuses présentent une plus forte inclinaison. Certaines parmi elles se sont même développées verticalement. Ces résultats appuyent les observations faîtes par Fernandez et Moreno (1999) selon lesquels les racines principales se développent chez l'olivier parallèlement à la surface

du sol et qu'une grande partie du système radiculaire est représentée par de fines racines qui favorisent l'absorption des minéraux. Cependant, en dépit de cette prédisposition génétique, la distribution des racines est fortement influencée par les propriétés du sol et son état hydrique, la proximité des arbres et les pratiques culturales, en particulier l'irrigation.

Au cours de la première année de culture l'olivier a développé un enracinement ramifié constitué par de fines racines de diamètre inférieur à 2 mm essentiellement réparties dans les 20 premiers cm du sol. A partir de la 2ème année et jusqu'à la 5ème année le nombre de racines a augmenté surtout en surface, atteignant sur les 60 premiers cm une proportion de 70-75% sur un total compris entre 15 et 29 racines. Des résultats comparables ont été rapportés par Abd-ElRahman et al., (1966) et Michelakis et Vougioucalou (1988) qui ont observé chez de jeunes plants d'olivier un enracinement ramifié et superficiel se développant dans la tranche de sol 0,15-0,40 m à 0,30-0,40 m du tronc. Nos profils radiculaires ont présenté quelques racines dans la tranche de sol 0,60 – 0,80 m malgré la texture limono-argilo-sableuse du sol qui limite habituellement la profondeur d'enracinement.

L'adoption d'une irrigation complémentaire utilisant des doses faibles d'eau comprises entre 720 et 1760 litres par arbre pendant les 4 premières années de culture, appliquées pendant une durée de quelques jours et de 4 à 7 fois pendant la période d'irrigation, aurait favorisé cette extention vers la profondeur du sol. La pratique d'une irrigation localisée en 2002 et en 2003 avec des apports d'eau plus rapprochés et la nature du matériel végétal (boutures semi-ligneuses) caractérisé par un système radiculaire ramifié auraient favorisé le développement des racines surtout au niveau de la tranche de sol 40 et 60 cm. Néanmoins un nombre de racines important a été observé dans les autres horizons, ce qui a permis d'explorer un volume de sol plus important. Celui-ci a

augmenté annuellement et régulièrement d'environ 1m^3 jusqu'à la 5ème année, mais à la 6ème année de culture, ce volume a doublé de valeur atteignant 11,2 m^3 ce qui représente 26% du volume utile de l'olivier calculé sur une profondeur de 1,2 m avec une concentration importante en racines de faible diamètre dans la tranche de sol 40-60 cm.

Les résultats ont montré que les densités radiculaires ont varié en moyenne de 0,067 cm / cm^3 à 0,303 cm / cm^3 de sol selon la profondeur, l'âge de la plante, l'orientation et l'éloignement du tronc. Elles sont plus faibles que celles qui ont été rapportées par Connor et Fereres (2005) qui situent les densités entre 0,1 et 1,0 cm / cm^3 de sol selon l'âge, la distance du tronc et la profondeur. Connor et Fereres (2005) rapportent des densités maximales de 0,7 cm / cm^3 à 0,45 m du tronc dans les couches superficielles pour des oliviers Manzanille âgés de 12 ans. Les échantillons que nous avons prélèvé à 40 cm du tronc ont montré que les densités les plus élevées sont celles de l'horizon de surface quelque soit l'âge et l'orientation ; elles ont évolué en diminuant de 0,055 à 0,006 cm / cm^3 à mesure que la profondeur a augmenté. Ce résultat appuye les observations faîtes au niveau des tranchées qui ont montré un nombre de racines important au niveau de l'horizon de surface mais qui paraît sous-estimé étant donné que parmi les racines extraites de cet horizon plusieurs étaient adhérantes à l'argile (cachées) et présentant un diamètre inférieur à 1 mm. De ce fait, il ne nous a pas été possible de les considérer lors de l'analyse du profil radiculaire. Selon Fernandez et Moreno (1999) la présence de ces racines est importante puisqu'elles déterminent la capacité du système radiculaire à absorber l'eau.

Les densités radiculaires les plus élevées ont été observées chez le plant âgé de 6 ans à 40 cm du tronc sur les 40 premiers cm de pronfondeur avec des valeurs de 0,63 et 0,67 cm / cm^3 en faveur du côté Est. Ces densités correspondent bien aux valeurs présentées

par Fernandez et Moreno (1999) et Connor et Fereres (2005), mais on ignore toutefois l'origine de la variation observée notamment au niveau du plant âgé de trois ans qui a présenté des densités plus élevées que celui de quatre ans. Un effet variétal pourrait en être la cause.

A partir de ces densités, nous avons calculé la longueur du système radiculaire qui permet d'estimer sa capacité à collecter l'eau. Pour un volume de sol exploré variant de 1,5 à 11,2 m^3, la longueur du système radiculaire a été d'environ 1 km pour l'olivier âgé d'1 an, 2 km pour 2 ans, 7 km pour les pieds âgés de 3 et 5 ans et de 3,5 km seulement pour le plant de 4 ans. Pour l'olivier âgé de 6 ans, occupant un volume de sol de 11,2 m^3, la longueur du système radiculaire a été de 33,9 km. Cette valeur est plus faible que celle qui a été rapportée par Fernandez et al., (1991) pour des oliviers Manzanille de 12 ans menés en pluvial et en irrigué présentant 42,4 et 53,6 km de racines, mais beaucoup plus élevée que celle qui a été présentée par Dichio et al., (2002) pour des oliviers Coratina irrigués, âgés de 6 ans, conduits à 6mX3m et disposant d'une longueur totale de 3,7 km seulement.

Le rapport de la longueur du système radiculaire et de la surface de la canopée, déterminée chez l'olivier âgé de 6 ans au cours de l'année 2003 (14,75 m^2 en moyenne) permet d'apprécier l'importance du système radiculaire et sa capacité à alimenter la canopée et à subvenir aux besoins de la transpiration. Il est égal à 2,29 km / m^2 de feuilles et se situe autour des valeurs de 2,2-2,9 km/m^2 présentées par Connor et Fereres (2005) comme étant des valeurs optimales.

L'analyse simultanée des mesures effectuées au niveau de la frondaison et des racines au cours des 6 années de suivi ont montré que l'extension de la frondaison a été plus faible que celle des racines durant les trois premières années au cours des quelles le rayon de la frondaison n'a pas dépassé 0,77 m alors que les racines

ont été observées à une distance de 1,10-1,30 m du tronc. A partir de la 4ème année les deux parties ont évolué parallèlement. Ceci confirme bien l'existence de la relation sectorielle racine-charpente (Masmoudi et al., 2004) selon laquelle chaque partie de la frondaison serait directement liée à une racine principale qui assurerait son alimentation hydrique et minérale (Cruizart et Tyree, 1990). Par conséquent toute intervention au niveau de l'une ou de l'autre des deux parties affectera l'équilibre de l'arbre, en faveur du développement radiculaire ou de celui de la frondaison pour ré-atteindre l'équilibre. D'ailleurs, le rapport entre les surfaces explorées par chacune des parties décroit rapidement durant les premières années et passe de 20,0 à 0,9 pour se maintenir autour d'une valeur proche de 1. Cette réduction, accentuée à partir de l'année 2000 peut être considérée comme une réponse favorable de l'olivier qui bienque soumis à l'effet de la compétition trophique et aux différentes pratiques horticoles et variations climatiques a pu assurer une production convenable et maintenir l'équilibre entre la partie aérienne et souterraine dont le développement est étroitement lié à l'état hydrique du sol et conditionne dans une large mesure l'alimentation hydrique de l'arbre. C'est pourqoui nous avons analysé de plus près la relation olivier – sol – consommation en eau à travers l'étude de la dynamique de l'eau au voisinage de l'arbre en relation avec son développement et la détermination de sa consommation hydrique.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail est la caractérisation de la dynamique de croissance de l'olivier Cvs. Chétoui, Meski, Picholine et Manzanille au cours des premières années de culture en rapport avec leur alimentation en eau dans le but de la modélisation.

L'analyse des résultats relatifs à la croissance a été réalisée en considérant dans une première étape l'ensemble de la période expérimentale puis à l'échelle du cycle annuel. Les variations inter et intra annuelles et inter variétal ont été investiguées. Ces analyses nous ont permis d'élaborer des modèles phénologiques types pour les différents paramètres mesurés et de mettre en relation les paramètres de croissance entre - eux et avec certains paramètres physiques, liant notamment le développement de la canopée à celui du système radiculaire et l'accroissement annuel de l'olivier à la demande climatique. Les résultats ont montré :

- La croissance en hauteur des jeunes oliviers, de la pousse terminale, de la circonférence de la frondaison et du diamètre du tronc évoluent en suivant une courbe en S caractérisée par 3 phases de croissance plus ou moins distinctes avec une deuxième phase rapide qui se situe entre la 4^{ième} et la 5^{ième} année de culture et au cours de laquelle il est recommandé d'optimiser les conditions de culture en vue d'assurer une croissance maximale. A partir de la 5ème année d'âge, la vitesse de croissance de l'arbre ralenti en raison de l'entrée en production et donc de l'établissement de la compétition nutritive. A partir de ce moment et du fait que l'olivier porte sa production sur les pousses âgées d'un an ou plus, le maintien de l'équilibre entre la croissance végétative et la production est nécessaire mais il dépend de plusieurs facteurs dont

le niveau de production, les pratiques horticoles et les facteurs physiques environnementaux.

- La taille de formation pratiquée au cours de cette période de jeunesse permet de construire l'ossature de l'olivier et l'orienter dans son développement. La suppression des gourments et des rejets qui se trouvent à la base du tronc, permet de stimuler le départ en végétation de bourgeons latents et de réorienter la croissance de l'arbre vers le développement d'un nombre élevé de ramifications assurant une augmentation importante de la surface foliaire de la canopée. Celle-ci étant plus importante, aérée et éclairée est favorable à une augmentation des productions.

- Le développement de la frondaison obtenu au cours de l'année (n) est positivement corrélé au rendement en olives de l'année qui suit. De même, la masse de bois de taille supprimée après la coupe au cours de l'année (n) est hautement corrélée au développement de la frondaison observé au cours de l'année précédente. Elle est également corrélée à la production de la même année. Ce résultat montre que la taille est un facteur déterminant du rendement. Une taille appropriée augmente significativement le nombre de sites potentiels de différenciation des bourgeons floraux à travers un allongement plus important des pousses. Toutefois la taille n'a pas agit seule mais en rapport avec d'autres facteurs notamment l'eau et la température.

- Le passage de la période de jeunesse vers la période de production est marqué par une diminution de la vitesse de croissance relative du jeune plant en raison de l'entrée en compétition des fruits. Ces changements se font en étant sous l'influence des facteurs endogènes et exogènes, principalement la variété, les pratiques horticoles, le rayonnement, la température et l'eau.

- Au cours de la première année de culture, l'irrigation fréquente depuis la plantation jusqu'à l'automne favorise une

bonne reprise des boutures et leur assure un développement continu. Elle est favorable à une mise à fruits précoce, dès l'année qui suit la plantation, favorisée en outre par la présence d'un système radiculaire déjà en place et fonctionnel. Au cours des années suivantes, le nombre d'irrigation a été réduit afin de pouvoir étendre les résultats à d'autres modes de conduite.

- L'analyse du modèle phénologique graphique de la croissance en hauteur et de la pousse terminale montre sept périodes phénologiques entre le débourrement et le stade de quiescence hivernale avec trois vagues de croissance.

La période 1 dépend de la température et de la compétition trophique lorsque l'eau n'est pas un facteur limitant. La croissance maximale est observée pour une somme de degrès-jours de l'ordre de 200 d°jour et une température moyenne de 14,4°C entre janvier et mars pour les quatre variétés. Comme la différenciation des fleurs se produit au cours de cette période l'apport d'amendements minéraux permet de réduire la compétition nutritive et favorisera la formation de fleurs parfaites.

La période 2 caractérise la croissance printanière, qui produit en moyenne 33% de l'accroissement annuel. De ce fait l'irrigation précoce même en quantité réduite, avant le démarrage de la nouvelle pousse de l'année et au début de la vague de croissance printanière favorisera le développement végétatif et florifère.

Au cours de la période 3, les oliviers entamment la croissance estivale avec une contribution de 27%. La réduction des vitesses au cours de cette période résulte de l'effet de la demande climatique et de la compétition nutritive. Lorsque l'eau n'est pas un facteur limitant, l'élévation de la température au cours de la journée à des valeurs supérieures à 35°C engendre la réduction de la photosynthèse et freine l'allongement végétatif. Les effets négatifs du stress thermique peuvent être atténués par l'irrigation. En effet, l'analyse du flux de la sève au cours de journées à forte demande

climatique et de sirocco a montré qu'on peut maintenir un bon niveau d'activité de la plante en maintenant le sol à un niveau d'humidité convenable et qu'en abscence d'irrigation durant les journées de forte demande évaporatoire, le flux de la sève est réduit. Le ralentissement de la croissance estivale qui résulte de l'effet de la compétition nutritive entre les différentes structures en développement couvre la période de durcissement des noyaux des olives qui a lieu pendant une période de forte demande évaporatoire. La vitesse de croissance des fruits ralentit durant cette période mais elle ne s'annulle pas contrairement à ce qui est communément observé. Cette différence fondamentale avec le modèle de Rallo (1998) résulte de l'influence de l'irrigation.

Mais l'apport de l'eau au cours de l'été (périodes 4 et 5) ne s'est pas traduit tous les ans par une croissance végétative estivale (cas des années 2002 et en 2003) en raison de l'influence de la charge en fruits. Il en ressort, que pendant les années de charge élevée en fruits, l'irrigation au cours de l'été profitera aux olives plutôt qu'à la croissance végétative. Au cours des années de faible charge elle favorisera la croissance végétative et par conséquent la différenciation d'un plus grand nombre de bourgeons floraux qui sont à la base de la production de l'année suivante.

La période 6 caractérise la croissance automnale dont la contribution est de 26%, mais sa présence et son importance dépendent de la disponibilité de l'eau, de la température et surtout de la charge en olives. L'apport de l'eau pendant la période de grossissement des olives et jusqu'à la fin du mois de septembre a engendré une augmentation du calibre des fruits de 20 à 30%.

La quiescence de l'olivier (période 7) est observée entre novembre et janvier. Elle se fait avec une vitesse faible mais non nulle, ce qui implique que l'olivier conserve une activité minimale même pendant 'le repos hivernal'.

- La recherche de relations entre les paramètres de croissance, la température, la demande climatique et le niveau des apports hydriques ont montré que l'influence de ces facteurs dépend largement de la période considérée. Il ressort de nos résultats que le développement de la canopée au cours des vagues de croissance est sous le contrôle de facteurs endogènes alors qu'il est sous l'influence de facteurs exogènes, notamment les températures maximales et minimales, la demande climatique et les apports hydriques en dehors de ces vagues.

- Toutefois, le développement aérien est lié au développement des racines et du tronc. Ce résultat est confirmé d'une part par la relation significative que nous avons trouvée entre le développement du système radiculaire et celui de la frondaison, et d'autre part, par les résultats obtenus au cours de nos mesures de flux de la sève, qui ont montré que le flux varie en fonction de la direction et non pas de l'orientation. Ceci confirme bien l'existence de la relation sectorielle racine-charpente selon laquelle chaque partie de la frondaison serait directement liée à une racine principale qui assurera son alimentation hydrique et minérale. Par conséquent toute intervention au niveau de l'une ou de l'autre des deux parties affectera l'équilibre de l'arbre, en faveur du développement radiculaire ou de celui de la frondaison pour ré-atteindre l'équilibre. En outre, la variation de l'état hydrique du sol au niveau de la rhizosphère suite à l'apport de l'eau va engendrer une réponse différente de l'arbre.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdel-Rahmane, A.A. et H.M. El-Sharkawi, 1974. Response of olive and almond orchards to partial irrigation under dry farming practices in semi-arid regions. Water relations in olive during the growing season. Plant and soil, 41: 13-31.

Abid-Karray, J., 2006. Bilan hydrique d'un système de cultures intercalaires (Olivier – Culture maraîchère) en Tunisie Centrale : Approche expérimentale et essai de modélisation. Thèse de Doctorat. Université de Montpellier II. 172 pages.

Allen, G., S. Pereira, D. Raes et M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration. Guideline for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper 56. FAO. Rome.

Bandino, G. et S. Dettori, 2003. Manuale di olivicultura. Consorzio Interprovinciale per la Frutticoltura Cagliari. Oristano. Nuoro. Regione Autonoma della Sardegna.

Ben Mechlia, N. et A. Hamrouni, 1978. Alternance et production potentielle chez l'olivier irrigué. Séminaire International sur l'olivier et autres plantes oléagineuses cultivées en Tunisie. Mahdia. 3-7 Juillet 1978. pp. 199-208.

Ben Rouina, B., H. Taamallah et A. Trigui, 1996. L'enracinement de l'olivier et ses variations en fonction de la nature du sol en milieu aride. Séminaire International : Acquis scientifiques et perspectives pour un développement durable en zones arides. NS Revue des régions arides.

Bignami, C., S. Natali, C. Menna et G. Peruzzi, 1993. Growth and phenology of some olive cultivars in central Italy. Olea 22, page 17.

Blumenfeld, A., 1980. Fruit growth of loquat. Journal of the American Society For Horticultural Science 105 (5): 747-750.

Bonachela, S., F. Orgaz, F.J. Villalobos et E. Fereres, 1999. Measurement and Simulation of evaporation from soil in olive orchards. Irrig. Sci. 18: 205-211.

Bonji, G. et A. Palliotti, 1994. Olive in Hand book of environmental physiology of fruit crop. Eds. B. Schaffe and P.C., Anderson CRC Press Inc. 165-187.

Boulouha, B., 1986. Croissance, fructification et leur interaction sur la production chez la Picholine Marocaine, Olea 17 : 41-47.

Caspari, H.W., S.R. Green et W.R.N. Edwards, 1993. Transpiration of well-watered and water-stressed Asian pear trees as determined by lysimetry, heat-pulse and estimated by a Penman-Monteith model. Agric. For. Meteorololy. 67, 13-27.

Cimato, A. et P. Fiorino, 1986. Influence of fruit bearing on flower induction and differentiation in olive. Olea 17: 55-60.

Cimato, A., C. Cantini et G. Sani, 1990. Climate – phenology relationships on olive Cv. Frantoio. Acta Horticulturae 286: 171-174.

Clothier, B.E. et S.R. Green, 1994. Root zone processes and the efficient use of irrigation water. Agric. Water Management. 25,1-12.

C.O.I., 1997. 'L'olivier', C.O.I., 1997. Encyclopédie Mondiale de l'Olivier, Ed. Plaza and Janéf F.A., 479 p.

Cohen, Y., 1991. Determination of orchard water requirement by a combined trunk sap flow and meteorology approach. Irrig. Sci., Vol 12, pp 93-98.

Cohen, Y., M. Fuchs et S., Cohen, 1983. Resistance to water uptake in a mature citrus tree. J. Exp. Bot. 34: 451-460.

Connor, D.J. et E. Fereres, 2005. The Physiology of adaptation and yield expression in Olive. Horticultural Review, Volume 31, Edited by Jules Janick.

Cottenie, A., M. Verloo, L. Kiekens, R. Camerlynck, G. Velghe et A. Dhaese, 1983. Essential and non essential trace

elements in the system soil – water - plant. Laboratory of analytical and agrochemistry state university. Gent-Belgium. 217 pages.

Cruiziat, P. et M.T. Tyree, 1990. La montée de la sève dans les arbres. La Recherche, N°220.

Cuevas, J. et V.S. Polito, 1997. Compatibility relationships in Manzanillo Olive. HortScience 32 (6): 1056-1058.

Demarez, V., J.P. Gastellu-Etchegorry, P. Mordelet, C.Tosca, G. Marty et P. Guillevic, 2000. Modeling of the radiation regime and photosynthesis of a finite canopy using the DART model. Influence of canopy architecture assumptions and border effects. Agronomie 20: 259-270.

Denny, J.O. et G.R. McEachern, 1985. Modeling the thermal adaptability of the olive (Olea europaea L.) in Texas. Agricultural and Forest Meteorology 35: 309-327.

Dettori, S., 1987. Estimacion con los metodos de la F.A.O. de las necesidades de riego de los cultivos de aceitunas de mesa de Cerdena. Olivae 17 : 30-35.

Dettori S., et G., Russo .1993. Influence du cultivar et du régime hydrique sur le volume de production et la qualité de l'huile d'olive. Olivae 49 : 36-42. Décembre 1993.

Dichio B., M. Romano, V. Nuzzo et C. Xiloyannis, 2002. Soil water availability and relationship between canopy and roots in young olive trees (Cv. Coratina). Acta Horticulturae 586 : 255-258.

Fernandez, J.E., F. Moreno et J. Martin-Aranda, 1990. Study of root dynamics of olive trees under drip irrigation and dry farming. Acta Horticulturae 286:263-266.

Fernandez, J.E., F. Moreno, F. Cabrera, J.L. Arrue et J. Martin-Aranda, 1991. Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of olive trees. Plant and soil 133:239-251.

Fernandez, J.E. et F. Moreno, 1999. Water use by the olive tree. Journal of crop production, Vol 2, N°2: 101-162.

Fernandez-Escobar, R., M., Benlloch C., Navarro et G.C., Martin, 1992. The time of floral induction in the olive. Journal of the American Society For Horticultural Science. 117 (2): 304-307.

Flore, J.A., et D.R. Layne, 1999. Photoassimilate production and distribution in Cherry. HortScience, 34 (6): 1015-1019.

Green, S.R., 1993. Radiation balance, transpiration and photosynthesis of an isolated tree. Agricultural and Forest Meteorology, 64, 201-221.

Habaieb, H., et C. Masmoudi-Charfi, 2003. Calcul des besoins en eau des principales cultures exploitées en Tunisie : Estimation de l'évapotranspiration de référence par différentes formules empiriques. Cas des régions de Tunis, Béja et Bizerte ». Sécheresse 14 (4) : 1-9. Décembre 2003.

Haffani, M., 1997. Modélisation agrométéorologique de la croissance du blé. Mémoire de fin d'étude du 2ème cycle de spécialisation de l'INAT. Spécialité Agronomie et Amélioration des plantes. 78 pages.

Hartmann, H.T., 1953. Effect of winter chilling on fruitfulness and vegetative growth in the olive. Journal of the American Society For Horticultural Science 62: 184-190.

Inglese, P., E. Barone et G. Gullo, 1996. The effect of complementary irrigation on fruit growth, ripening patter and soil characteristics of olive (Olea europaea L.) Cv. Carolea. Journal of Horticultural Science 71 (2) : 257-263.

Institut de l'olivier, 1994. Techniques de plantation de l'olivier. Série document technique n°2, 1994.

Jacobini, N., 1993. L'élevage de l'olivier en monocône en Italie. Approche d'évaluation de la production. Olivae 47 - Juin 1993.

Jardak, T., 1994. Contribution à l'étude de la dynamique des populations de la teigne de l'olivier, Prays Oleae Bern. (Lepidoptera, Hyponomeutidae) dans la région de Sfax. Thèse de

Doctorat d'Etat en Sciences Biologiques. Université de Tunis II. Faculté des Sciences de Tunis.

Lakhoua, H., 1982. Quelques aspects de la production de la variété Chemlali sous le climat de Sfax, Domaine du Chaal (1939-1973). Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie, 55: 2-24.

Lavee, S., 1997. Biology and Physiology of the olive. In World Olive Encyclopedia. Ed. C.O.I., pp. 59-110.

Loussert, R., et G., Brousse, 1978. L'Olivier. Techniques Méditerranéennes et Productions Agricoles Tome 1. G.P. Maisonneuve et Larose, Paris.

Mariscal, M.J., F. Orgaz et F.J. Villalobos, 2000. Radiation-use efficiency and dry matter partitioning of a young olive orchard. Tree Physiology 20 : 65-72.

Masmoudi-Charfi, C., M.M. Masmoudi et N. Ben Mechlia, 2004. Irrigation de l'olivier : Cas des jeunes plantations intensives. Revue Ezzaitouna Vol 10 (1et 2) : 37-51.

Masmoudi-Charfi C., M. Msallem et M.B. Say, 2006. Plantations irriguées d'olivier. Document Technique n°2. Institut de l'olivier. 7 pages en langue arabe.

Masmoudi-Charfi C., 2006. Gestion de l'irrigation dans les plantations d'olivier. Document Technique n° 3. Institut de l'olivier.13 pages en langue arabe.

Masmoudi M.M., C. Masmoudi-Charfi, I. Mahjoub et N. Ben Mechlia, 2007. "Water requirements of individual olive trees in relation to canopy and root development". Wasamed Project. Options Méditerranéennes. Proceedings of the International Conference on water harvesting in Mediterranean Agriculture and Future Research Needs. 14-17 February 2007. Valenzano Italy. pp 73-80.

Michelakis, N. et E. Vougioucalou, 1988. Water use, root and top growth of olive trees for different methods of irrigation and levels of soil water potential. Olea 19: 17-31.

Michelakis, N., 1990. Yield response of table and oil olive tree varieties to different water doses under drip irrigation. Acta Horticulturae 286: 271-274.

Michelakis, N., 1995. Effet des disponibilités en eau sur la croissance et le rendement des oliviers. Olivae 56: 29-39.

Michelakis, N., 2000. Water requirements of olive tree on the various vegetative stages. Proceedings of the International Course on water management and irrigation of olive orchards. Cyprus. Avril 2000.

Moriana, A.F., J. Villalobos et E. Fereres, 2002. Stomatal and photosynthetic responses of olive (Olea europaea L.) leaves to water deficits. Plant Cell Environment 25: 395-405.

Moriana, A.F., F. Orgaz, M. Pastor et E. Fereres, 2003. Yield response of a mature olive orchard to water deficits. Journal of the American Society For Horticultural Science 128 : 425-431.

Moreno, F., J.E. Fernandez, B.E. Clothier et S.R. Green, 1996. Transpiration and root water uptake by olive trees. Plant and Soil 184: 85-96.

Msallem, M. et C. Masmoudi-Charfi, 1997. Les Techniques de production de plants d'olivier. Série Document technique de l'Institut de l'Olivier, 1/1997. 33 pages.

Msallem, M., 2002. Etude de la juvenilité chez l'olivier *olea europaea* L. Aspects morphologiques, anatomiques, physiologiques et biochimiques. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Sp production végétale.219 pages.

Newman, E.I., 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. Journal of applied Ecology 3: 139-145.

Nogués, S. et N.R. Baker, 2000. Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV – B radiation. J. Expt. Bot. 51: 1309-1317.

O.N.H., 2006. Les journées d'étude relatives au développement de l'oléiculture à huile. 19-20 Décembre 2006. Tunis.

Palease, A.M., V. Nuzzo, B. Dichio, G. Celano, M. Romano, C. Xiloyannis, M.,I. Ferreira et H.G., Jones, 2000. The influence of soil water content on root density in young olive trees. Acta Hort. 537: 329-336.

Pansiot, F.R. et H. Rebour, 1961. Improvement in olive-cultivation. Ed. F.A.O., 249 Pages.

Piedra, P.A., G.J. Humanes, P. Munoz-Cobo et S. Martin, 1997. Plantations à haute densité. Concepts nécessaires. Olivae 69, Décembre 1997.

Poli, M., 1979. Etude bibliographique de la physiologie de l'alternance de production chez l'olivier (Olea europaea L.), Fruits 34 : 687-695.

Proietti, P. et A. Tombesi, 1996.Translocation of assimilates and source-sink influences on productive characteristics of the olive tree. Adv. Hort. Sci., 10 : 11-14.

Rallo, L. et G.C. Martin, 1991. The role of chilling in releasing olive floral buds from dormancy. J. Am. Soc. Hort. Sci.116: 1058-1062.

Rallo, L., 1998. Fructification y produccion, In El Cultivo del olivo. Junta de Andalucia y Grupo Mundi-Prensa, pp: 107-136.

Rallo, P. et H.F., Rapoport, 2001. Early growth and development of the olive fruit mesocarp. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 76 (4): 408-412.

Riou, C., 1978. Quelques aspects du bilan hydrique d'une plantation d'oliviers. In: Séminaire sur l'olivier et autres plantes oléagineuses cultivées en Tunisie. Mahdia 1978. pp. 101-104. Ed. O.N.H.

Sabatier S., D. Barthélémy et I. Ducousso, 2003. Periods of Organogenesis in Mono-and Bicyclic annual shoots of Juglans regia L. (Juglandaceae). Annals of Botany 92: 231-238.

Samish, R.H. et P. Spiegel, 1966. L'influence de l'irrigation sur la croissance de l'Olivier pour la production d'huile. Informations Oléicoles Internationales 34 : 53-63.

Sanchez Raya, A.J., 1990. Quelques effets de la sécheresse sur la physiologie de l'olivier (Olea europaea). Olivae 31: 38-42.

Sanz-Cortès, F., Martinez-Calvo, M.L. Badenes, H. Bleiholder, H. Hack, G. Llacer et U. Meier, 2002. Phenological growth stages of olive trees (Olea europaea). Ann. Appl. Biol., 140:151-157.

Schwartz, M.D. et G.A. Marotz, 1986. An approach to examin regional atmosphere-plant interactions with phenological data. Biogeography 13: 551-560.

Schwartz, M.D., G.J. Carbone, G.L. Reighard et W.R. Okie, 1997. A Model to predict peach phenology and maturity using meteorological variables. HortScience 32 (2): 213-216.

Storey, R. et M.T. Treeby, 1999. Short- and long-term growth of navel orange fruit. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 74 (4) : 464-471.

Stanley, C.J., D.S. Tustin, G.B. Lupton, S. Mcartney, W.M. Cashmore et H.N. DeSilva, 2000. Towards understanding the role of temperature in apple fruit growth responses in three geographical regions within New Zealand. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 75 (4): 413-422.

Suzuki, A., 2000. Patterns of vegetative growth and reproduction in relation to branch orders: the plant as a spacially structured population. TREES, 14:329-333.

Tennant, D., 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. Journal of Ecology 63: 995-1001.

Tombesi, A., 1993. Olive fruit growth and metabolism. Olea 22, page 60.

Trigui, A. et M. Msallem, 2002. Oliviers de Tunisie. Catalogue des variétés autochtones et types locaux. Volume I, 159 pages.

Vernet, A. et P. Mousset, 1962. Ecologie de l'Olivier : Alimentation en eau. Bulletin de l'ENSAT, 3: 17-42.

Villalobos, F.J., F.Orgaz, L. Testi et E. Fereres, 2000. Measurement and modelling of evapotranpiration of olive (Olea europaea L.,) orchards. European Journal of Agronomy 13: 155-163.

Villemur, P. et J.M. Delmas, 1978. Croissance, développement et alternance de production. Séminaire International sur l'olivier et autres plantes oléagineuses cultivées en Tunisie. Mahdia, 3-7 Juillet 1978.

Wright, G.C., J.B. Storey, M.K. Harris et P.T. Sprintz, 1990. Pre - harvest Pecan yield estimation. Hort-Science 25 (6): 698-700.

Xiloyannis, C., B. Dichio, V. Nuzzo et G. Celano, 1999. Defence strategies of olive against water stress. Proceeding of the 3rd International ISHS Symposium on olive growing. Eds. I.T. Metzidakis and D.G. Voyiatzis. Acta Hort. 474, ISHS.

Yankovitch, L. et P. Berthelot, 1947. Rapport sur l'enracinement de l'olivier et des autres arbres fruitiers en Tunisie. Annales du service botanique et agronomique de Tunisie, 20: 109-176.

Annexe

Partie 1- Résultats

Tableau A1. Calcul de la longueur du système radiculaire (L_r, Km) à partir de la densité radiculaire (Dr, cm/cm^3) et du volume de sol occupé par les racines (V, m^3) chez des oliviers âgés de 1 à 6 ans.

	1	2	3	4	5	6
Dr	0,067	0,079	0,196	0,075	0,133	0,303
Vr	1,5	2,5	3,6	4,6	5,3	11,2
Lr	1,005	1,975	7,056	3,45	7,049	33,936

Buy your books fast and straightforward online - at one of the world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at

www.get-morebooks.com

Achetez vos livres en ligne, vite et bien, sur l'une des librairies en ligne les plus performantes au monde!
En protégeant nos ressources et notre environnement grâce à l'impression à la demande.

La librairie en ligne pour acheter plus vite

www.morebooks.fr

OmniScriptum Marketing DEU GmbH
Heinrich-Böcking-Str. 6-8
D - 66121 Saarbrücken
Telefax: +49 681 93 81 567-9

info@omniscriptum.com
www.omniscriptum.com

OMNIScriptum

View publication stats